

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

1–2

2005

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

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

---

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 1–2

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

---

Сдан в набор 12.12.2004. Подписан в печать 22.04.2005.  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 19,64. Усл. кр.-отт. 19,64.  
Уч.-изд. л. 24,4. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

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

---

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



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Б.П. Чураков, Н.А. Евсеева.* Анализ видового состава и структуры микобиоты дубовых лесов Ульяновской области..... 7
- С.М. Матвеев.* Цикличность прироста сосновых древостоев Центральной лесостепи в 11-летнем цикле солнечной активности..... 14
- Б.В. Раевский, А.А. Мордась.* Ход роста культур сосны скрученной в подзоне средней тайги..... 22
- О.В. Адмаев, Т.В. Гавриленко.* Применение метода конкордации для оценки изменений качественного состояния экологических систем ..... 33

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- В.П. Антипин, Е.Н. Власов, Г.В. Каршев, К.С. Щеголев.* Влияние передаточного числа трансмиссии на энергозатраты трактора ЛХТ-100..... 38
- Е.Г. Гладков.* Модель территориальной динамики лесозаготовительного предприятия..... 46
- Н.К. Климушев.* Сезонная неравномерность лесозаготовительного производства..... 52

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- С.П. Исаев.* Оценка технологической пригодности круглых лесоматериалов.... 55
- И.И. Иванкин, Г.Ф. Прокофьев, О.Л. Коваленко.* Теоретические исследования усталостной прочности ленточных пил..... 60
- Е.Н. Серов, Р.Б. Орлович, М. Ланге.* Современные тенденции использования древесных материалов в зарубежном строительстве..... 65
- Л.В. Алексеева, Р.Г. Чернега.* Определение вместимости накопителей с учетом размеров сортиментов и их распределения по потокам..... 73

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- И.В. Лобова, Е.В. Новожилов, В.А. Петровичев, И.В. Мягих.* Влияние продолжительности ферментной обработки ксиланазами на белимость сульфатной целлюлозы..... 79
- В.А. Суслов.* Определение коэффициента накипеобразования на выпарных батареях целлюлозно-бумажных комбинатов..... 86
- В.К. Дубовый, Г.И. Чижев, В.В. Хованский.* Изучение механизма возникновения свойства влагопрочности в бумаге из минеральных волокон ..... 100
- Д.А. Дулькин, Л.А. Южанинова, В.Г. Миронова, В.А. Спиридонов.* Научные основы переработки макулатуры..... 104

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- М.А. Кравцова, Н.П. Чупров.* Динамика потребления древесины и лесопользования в Архангельской области..... 123
- Ю.В. Кузминых, Р.Д. Алиг, О.Н. Кранкина, А.С. Йост.* Социально-экономический аспект потенциального стока углерода в лесные экосистемы..... 130

*КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ*

- А.Т. Гурьев, М.Е. Деменков.* Модели и методы интеграции процессов жизненного цикла изделий лесного машиностроения..... 136
- В.В. Павлов, А.Т. Гурьев, А.А. Блок.* Методика разработки распределенных моделей параллельных технологических процессов..... 147

*МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ*

- О.М. Соколов, Т.С. Буторина, Г.В. Комарова, Е.В. Ширинов.* Региональный аспект модернизации высшего образования в условиях Болонского процесса..... 156

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- В.А. Суслов.* Результаты промышленных исследований режимов работы выпарных станций ЦБП и их сопоставление по эффективности выпаривания..... 168
- Д.А. Дулькин, Л.А. Южанинова, В.Г. Миронова, О.И. Блинушова.* Интенсификация процессов разволокнения макулатуры и последующего размола полученной массы..... 172
- Б.Г. Мартынов.* Диагностические средства для определения технического состояния лесозаготовительных машин при ремонте..... 177
- Л.И. Евельсон, Е.А. Памфилов, А.П. Симин, Е.В. Шевелева.* Проектирование древесно-металлических подшипников скольжения..... 182
- В.К. Дубовый, Я.В. Казаков.* Использование сульфата алюминия для повышения деформационных характеристик бумагоподобных материалов из минеральных волокон..... 188

*ИСТОРИЯ НАУКИ*

- Л.Н. Прохоров, Л.И. Неведрова.* История становления и развития механизации лесного хозяйства (к 70-летию ВНИИЛМа)..... 194
- Р.В. Бобров.* Специалисты, которых заменить нельзя..... 200

*КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ*

- М.Д. Мерзленко.* Новая книга о проблемах лесного дела..... 203
- Д.В. Трубин.* Путеводитель в новый лес..... 204
- А.М. Копейкин.* Качество древесины сосны в культурах..... 206

*ЮБИЛЕИ*

- Ректорат и коллектив лесохозяйственного факультета Архангельского государственного технического университета, редколлегия и редакция «Лесного журнала».* Юбилей Ивана Ивановича Гусева..... 208



## CONTENTS

## FORESTRY

- B.P. Churakov, N.A. Evseeva.* Analysis of Species Composition and Mycobiota Structure of Oak Forests in the Ulyanovsk Region..... 7
- S.M. Matveev.* Cycling of Pine Stands Growth in Central Forest-steppe in 11-year Cycle of Solar Activity..... 14
- B.V. Raevsky, A.A. Mordas.* Growth Progress of Lodgepole Pine Plantation in the Middle Taiga Subzone..... 22
- O.V. Admaev, T.V. Gavrilenko.* Use of Concordance Method for Evaluating Changes of Ecological Systems Quality..... 33

## WOODEXPLOITATION

- V.P. Antipin, E.N. Vlasov, G.V. Karshev, K.S. Shchegolev.* Influence of Transmission Gear-ratio on Power Inputs of Tractor LHT-100..... 38
- E.G. Gladkov.* Model of Territorial Dynamics of Forest-harvesting Company..... 46
- N.K. Klimushev.* Seasonal Irregularity of Forest-harvesting Production..... 52

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

- S.P. Isaev.* Assessment of Technological Adequacy of Round Wood Material..... 55
- I.I. Ivankin, G.F. Prokofjev, O.L. Kovalenko.* Theoretical Research of Fatigue Resistance of Band Saws..... 60
- E.N. Serov, R.B. Orlovich, M. Lange.* Modern Tendencies of Wood Materials Use in Foreign Building Industry..... 65
- L.V. Alexeeva, R.G. Chernega.* Determination of Storage Size Taking into Account Dimensions of Assortments and their Distribution in Production Lines..... 73

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- I.V. Lobova, E.V. Novozhilov, V.A. Petrovichev, I.V. Myagkikh.* Influence of Enzyme Processing Time by Xylanases on Bleachability of Sulphate Pulp..... 79
- V.A. Suslov.* Determination of Scale Formation Factor for Evaporators of Pulp-and-paper Mills..... 86
- V.K. Dubovyy, G.I. Chizhov, V.V. Khovansky.* Study of Mechanism of Wet Strength Property Occurrence in Paper Made of Mineral Fibers..... 100
- D.A. Dulkan, L.A. Yuzhaninova, V.G. Mironova, V.A. Spiridonov.* Scientific Basis of Waste Paper Treatment..... 104

## ECONOMICS AND MANAGEMENT

- M.A. Kravtsova, N.P. Chuprov.* Dynamics of Wood Consumption and Forest Use in the Arkhangelsk Region..... 123
- Yu.V. Kuzminykh, R.D. Alig, O.N. Krankina, A.S. Jost.* Social-economic Aspect of Potential Carbon Flow to Forest Ecosystems..... 130

*COMPUTERIZATION OF TRAINING AND TECHNOLOGICAL PROCESSES*

- A.T. Gurjev, M.E. Demenkov.* Models and Methods of Integration of Life Cycle Processes in Forest Engineering..... 136
- V.V. Pavlov, A.T. Gurjev, A.A. Blok.* Method of Distributed Models Development for Parallel Technological Processes..... 147

*METHODS AND PRACTICAL EXPERIENCE OF TEACHING*

- O.M. Sokolov, T.S. Butorina, G.V. Komarova, E.V. Shirshov.* Regional Aspect of Higher Education Modernization in Conditions of Bologna Process..... 156

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE*

- V.A. Suslov.* Industrial Research Outcomes of Evaporating Station Modes at PPM and their Comparison according to Evaporating Efficiency..... 168
- D.A. Dulkan, L.A. Yuzhaninova, V.G. Mironova, O.I. Blinushova.* Intensification of Garnetting Processes of Waste Paper and Subsequent Milling of Obtained Mass..... 172
- B.G. Martynov.* Diagnostic Means for Determining Technical Condition of Logging Machines under Repair..... 177
- L.I. Evelson, E.A. Pamfilov, A.P. Simin, E.V. Sheveleva.* Design of Wood-and-metal Friction Bearings..... 182
- V.K. Dubovyj, Ya.V. Kazakov.* Application of Aluminum Sulfate for Increasing Deformational Characteristics of Paper-like Materials of the Mineral Fibers... 188

*HISTORY OF SCIENCE*

- L.N. Prokhorov, L.I. Nevedrova.* History of Becoming and Development of Forestry (to 70<sup>th</sup> Anniversary of All-Russia Scientific-research Institute of Silviculture and Forestry Mechanization)..... 194
- R.V. Bobrov.* Specialists that couldn't be Replaced..... 200

*CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY*

- M.D. Merzlenko.* New Book on Problems of Forest Business..... 203
- D.V. Trubin.* Guidebook for New Forest..... 204
- A.M. Kopejkin.* Quality of Pine Wood in Cultures..... 206

*JUBILEES*

- Administration of Arkhangelsk State Technical University and Collective of the Forestry Faculty, Editorial Board and Editorial Staff of «Lesnoj Zhurnal».* Jubilee of Ivan I. Gusev..... 208



УДК 632.4:674.031.632.26

**Б.П. Чураков, Н.А. Евсеева**

Чураков Борис Петрович родился в 1939 г., окончил в 1962 г. Московский лесотехнический институт, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой общей экологии Ульяновского государственного университета, почетный работник высшего образования РФ. Имеет около 100 печатных работ в области лесной фитопатологии и микологии.



Евсеева Наталья Александровна окончила в 2001 г. Ульяновский государственный университет, аспирант кафедры лесного хозяйства УлГУ. Имеет 5 печатных работ в области фитопатологии.



## АНАЛИЗ ВИДОВОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ МИКОБИОТЫ ДУБОВЫХ ЛЕСОВ УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Представлен систематический список грибов, характерных для дубовых насаждений Ульяновской области. Дан анализ распределения грибов по типу субстрата и характеру взаимоотношения с ним. Приведены возбудители и основные типы болезней дубовых насаждений.

*Ключевые слова:* микобиота, плодовое тело, типы болезней, трофическая специализация.

Ульяновская область относится к числу территорий Поволжья, относительно богатых лесными ресурсами. Треть лесопокрытой площади занимают дубовые леса, в структуре которых преобладают средневозрастные насаждения. Однако состояние дубрав в настоящее время крайне неудовлетворительно. Повсеместно наблюдается усыхание и распад насаждений. Дуб повреждается множеством разнообразных болезней.

Изучение видового состава фитопатогенных грибов на дубе черешчатом Ульяновской области проводится с 1993 г. [5]. Анализ данных микологических обследований территорий дубовых насаждений позволил выявить комплекс развивающихся на них патогенных грибов. Он представлен 45 видами грибов из 4 классов: 2,2 % (1 вид) относится к *Oomycetes*, 26,6 % (12 видов) – к *Ascomycetes*, 57,7 % (26 видов) – к

*Basidiomycetes* и 13,3 % (6 видов) – к *Deuteromycetes*. Таким образом, микобиота дубрав представлена в основном сумчатыми и базидиальными грибами. Полный систематический список микобиоты приведен в табл. 1.

Богатство видового состава, различное происхождение, морфология и биология грибов послужили основанием для выделения их в самостоятельное царство живой природы. Грибы очень разнообразны по форме, строению, физиологическим и экологическим особенностям [3]. Для сумчатых и базидиальных грибов характерно образование плодового тела.

Таблица 1

**Систематический список микобиоты дубовых насаждений  
Ульяновской области**

<b>КЛАСС OOMYCETES</b>	
Порядок <i>Peronosporales</i>	
Семейство	Вид
<i>Pythiaceae</i>	<i>Phytophthora omnivora</i> de Bary
<b>КЛАСС ASCOMYCETES</b>	
<b>ПОДКЛАСС EUASCOMYCETIDAE</b>	
<b>Группа порядков пиреномицеты</b>	
Порядок <i>Diaporthales</i>	
<i>Diaporthaceae</i>	<i>Diaporthe quercus</i> Fuck.
<i>Gnomoniaceae</i>	<i>Gloeosporium quercinum</i> West.
Порядок <i>Erysiphales</i>	
<i>Erysiphaceae</i>	<i>Microsphaera alphitoides</i> Griff. et Maubl.
Порядок <i>Xylariales</i>	
<i>Xylariaceae</i>	<i>Rosellinia quercina</i> Hart.
Порядок <i>Sordiales</i>	
<i>Sordialaceae</i>	<i>Chaetomium globosum</i> Kunze « <i>affine</i> Corda
Порядок <i>Diatrypales</i>	
<i>Diatrypaceae</i>	<i>Diatrypella quercina</i> (Pers.) Wint.
<b>Группа порядков дискомицеты</b>	
Порядок <i>Dothideales</i>	
<i>Dothideaceae</i>	<i>Mycosphaerella maculiformis</i> (Pers.) Auerswald
Порядок <i>Pleosporales</i>	
<i>Botryosphaeriaceae</i>	<i>Fusicoccum quercus</i> Oud.
Порядок <i>Phacidiales</i>	
<i>Clithriaceae</i>	<i>Clithris quercina</i> Rehm.
Порядок <i>Peciciales</i>	
<i>Sarcoscyphaceae</i>	<i>Sarcoscypha coccinea</i> (Fr.) Lambotte
Порядок <i>Helotiales</i>	
<i>Helotiallaceae</i>	<i>Stromatinia pseudotuberosa</i> Rehm

Окончание табл. 1.

**КЛАСС *BASIDIOMYCETES***  
**ПОДКЛАСС *HOLOBASIDIOMYCETIDAE***  
**Группа порядков гименомицеты**  
 Порядок *Aphyllorphorales*

<i>Fistulinaceae</i>	<i>Fistulina hepatica</i> Fr.
<i>Poriaceae</i>	<i>Bjerkandera adusta</i> (Willd.) Karst. <i>Coriolus versicolor</i> (Fr.) Quel. « <i>hirsutus</i> Quel. <i>Hapalopilus croceus</i> Donk. <i>Fomes fomentarius</i> Fr. <i>Heterobasidion annosum</i> (Fr.) Bref. <i>Daedalea quercina</i> Fr. <i>Lenzites betulinus</i> Fr.
<i>Ganodermataceae</i>	<i>Ganoderma applanatum</i> (Wallr.) Pat. « <i>lucidum</i> (Leys. et Fr.) Karst.
<i>Albatrellaceae</i>	<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.) Bond. et Sing.
<i>Stereaceae</i>	<i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers. « <i>frustulosum</i> (Pers.) Fr. « <i>gausapatum</i> Fr.
<i>Phaeolaceae</i>	<i>Phaeolus Schweinitzii</i> (Fr.) Pat.
<i>Hymenochaetaceae</i>	<i>Inonotus dryadeus</i> (Pers.) Murr. « <i>dryophilus</i> (Berk.) Murr. <i>Phellinus robustus</i> (Karst.) Bourd. et Galz. <i>Vuilleminia comedens</i> Maire.
<i>Corticiaceae</i>	
	Порядок <i>Agaricales</i>
<i>Tricholomataceae</i>	<i>Armillaria mellea</i> (Vahl.) Que. <i>Collybia velutipes</i> Curst. <i>Marasmius prasiosmus</i> Fr.
<i>Pleorataceae</i>	<i>Pleorotus ostreatus</i> Jacq.
<i>Strophariaceae</i>	<i>Pholiota squarrosa</i> Karst.
	Порядок <i>Polyporales</i>
<i>Polyporaceae</i>	<i>Polyporus squamosus</i> Fr.

**КЛАСС *DEUTEROMYCETES***  
**Группа порядков целомицеты**  
 Порядок *Sphaeropsidales*

<i>Sphaeropsidaceae</i>	<i>Septoria quercina</i> Desmaz. <i>Phyllosticta quercus</i> Sacc. et. Sped. « <i>quercina</i> Sacc. <i>Cytospora decipiens</i> Sacc. <i>Cytospora intermedia</i> Sacc. <i>Ascochyta quercus</i> Sacc.
-------------------------	---

Разнообразие форм плодовых тел сумчатых грибов, выявленных на дубе, представлено в табл. 2. Как видно, большинство видов грибов имеют плодовые тела по типу перитециев.

Таблица 2

## Плодовые тела сумчатых грибов

Форма плодового тела	Вид гриба
Апотеции	<i>Clithris quercina</i> , <i>Sarcoscypha coccinea</i> , <i>Stromatinia pseudotuberosa</i>
Перитеции	<i>Diaporthe quercus</i> , <i>Gloeosporium quercinum</i> , <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Ch. affine</i> , <i>Rosellinia quercina</i> , <i>Diatrypella quercina</i> , <i>Mycosphaerella maculiformis</i> , <i>Fusicocum quercus</i>
Клейстотеции	<i>Microsphaera alphitoides</i>

Таблица 3

## Плодовые тела базидиальных грибов

Продолжительность жизни плодового тела	Вид гриба
Многолетние	<i>Coriolus versicolor</i> , <i>C. hirsutus</i> , <i>Fomes fomentarius</i> , <i>Heterobasidion annosum</i> , <i>Daedalea quercina</i> , <i>Lenzites betulinus</i> , <i>Ganoderma applanatum</i> , <i>G. lucidum</i> , <i>Stereum hirsutum</i> , <i>S. frustulosum</i> , <i>S. gausapatum</i> , <i>Inonotus dryadeus</i> , <i>I. dryophilus</i> , <i>Phellinus robustus</i> , <i>Vuilleminia comedens</i>
Однолетние	<i>Hapalopilus croceus</i> , <i>Fistulina hepatica</i> , <i>Bjerkandera adusta</i> , <i>Lae- tiporus sulphureus</i> , <i>Phaeolus Schweinitzii</i> , <i>Armillaria mellea</i> , <i>Col- lybia vellutipes</i> , <i>Marasmius prasiomus</i> , <i>Pleorotus ostreatus</i> , <i>Pho- liota squarrosa</i> , <i>Polyporus squamosus</i>

Из признаков базидиальных грибов была выбрана продолжительность жизни плодового тела (многолетние или однолетние). По этому показателю базидиальные грибы представлены почти одинаковым количеством видов: многолетние – 15, однолетние – 11 видов (табл. 3).

Грибы являются основными возбудителями болезней древесной и кустарниковой растительности и составляют 97 % от всех болезней лесных пород [2]. Это сложный, динамичный, многофункциональный процесс взаимодействия двух живых организмов (питающее растение и возбудитель болезни), происходящий в часто меняющихся условиях окружающей среды [4]. По совокупности внешних и внутренних признаков проявления болезни группируются по типам. И.Г. Семенкова и Э.С. Соколова [3] типом называют группу заболеваний, имеющих сходные симптомы и объединяемые общим названием.

На территории Ульяновской области в дубовых насаждениях распространены следующие типы болезней.

## 1. Гнили (26 видов грибов):

гниль сеянцев – возбудитель *Phytophthora omnivora* и *Rosellinia quercina*;

гниль плодов – *Chaetomium affine* и *Ch. globosum*;

гниль взрослых насаждений:

по месту положения на дереве:

– стволые (15 видов грибов): *Laetiporus sulphureus*, *Stereum hirsutum*, *Fomes fomentarius*, *Phellinus robustus*, *Inonotus dryophilus*, *Daedalea quercina*, *Polyporus squamosus*, *Lenzites betulinus*, *Ganoderma applanatum*, *G. lucidum*, *Hapalopilus croceus*, *Pleorotus ostreatus*, *Coriolus versicolor*, *C. hirsutus*, *Bjerkandera adusta*;

– корневые (5 видов грибов): *Heterobasidion annosum*, *Armillaria mellea*, *Phaeolus Schweinitzii*, *Inonotus dryadeus*, *Fistulina hepatica*;

– вершинные (2 вида): *Vuilleminia comedens* и *Stereum gausapatum*;

по расположению на поперечном срезе дерева:

– периферическая (7 видов): *Armillaria mellea*, *Clithris quercina*, *Vuilleminia comedens*, *Stereum hirsutum*, *Fistulina hepatica*, *Ganoderma lucidum*, *Coriolus hirsutus*;

– центральная (9 видов) *Inonotus dryophilus*, *Hapalopilus croceus*, *Polyporus squamosus*, *Phaeolus Schweinitzii*, *Lenzites betulinus*, *Bjerkandera adusta*, *Coriolus versicolor*, *Pleorotus ostreatus*, *Ganoderma applanatum*;

– смешанная (5 видов): *Fomes fomentarius*, *Pleorotus ostreatus*, *Stereum frustulosum*, *Pholiota squarrosa*, *Ganoderma applanatum*.

2. Некроз коры (4 вида): *Clithris quercina*, *Cytospora decipiens*, *Diaporthe quercus*, *Cytospora intermedia*.

3. Пятнистость листьев (6 видов). Бурую пятнистость вызывают 2 вида: *Phyllosticta quercus*, *Gloeosporium quercinum*; по 1 виду – красно-коричневую (*Mycosphaerella maculiformis*), коричневую (*Phyllosticta quercina*), серовато-коричневую (*Septoria quercina*) и белую (*Ascochyta quercus*).

4. Мумификация желудей – *Stromatinia pseudotuberosa*.

5. Мучнистая роса – *Microsphaera alphitoides*.

Таким образом, наиболее распространенными болезнями дубовых насаждений области являются стволые центральные гнили, приносящие большой вред, а также некрозы и пятнистости, представленные 4 и 6 видами соответственно.

Патогенные грибы могут поражать все органы древесных пород [5]. На дубовых насаждениях области по субстратам выявленные виды грибов распределились следующим образом:

на ветвях и побегах 8 видов: *Cytospora intermedia*, *Vuilleminia comedens*, *Fusicoccum quercus*, *Clithris quercina*, *Cytospora decipiens*, *Diaporthe quercus*, *Stereum gausapatum*, *Sarcoscypha coccinea*;

на листьях 7 видов: *Gloeosporium quercinum*, *Microsphaera alphitoides*, *Phyllosticta quercina*, *Mycosphaerella maculiformis*, *Phyllosticta quercus*, *Septoria quercina*, *Ascochyta quercus*;

на стволах растущих деревьев 12 видов: *Fomes fomentarius*, *Phellinus robustus*, *Inonotus dryophilus*, *Stereum frustulosum*, *Laetiporus sulphureus*, *Daedalea quercina*, *Hapalopilus croceus*, *Polyporus squamosus*, *Phaeolus Schweinitzii*, *Pleorotus ostreatus*, *Pholiota squarrosa*, *Marasmius prasiosmus*;

на мертвой древесине и пнях 11 видов: *Ganoderma applanatum*, *Bjerkandera adusta*, *Coriolus hirsutus*, *C. versicolor*, *Stereum hirsutum*, *S. frustulosum*, *Ganoderma lucidum*, *Lenzites betulinus*, *Collybia velutipes*, *Pleorotus ostreatus*, *Pholiota squarrosa*;

на желудях 3 вида: *Stromatinia pseudotuberosa*, *Chaetomium affine*, *Ch. globosum*;

на корнях 5 видов: *Fistulina hepatica*, *Inonotus dryadeus*, *Armillaria mellea*, *Heterobasidion annosum*, *Rosellinia quercina*.

Грибы 5 видов были обнаружены на двух субстратах: живой и мертвой древесине (*Pholiota squarrosa*, *Pleorotus ostreatus*, *Daedalea quercina*, *Stereum frustulosum*, *Canoderma applanatum*).

Особую экологическую группу составляют дереворазрушающие грибы, вызывающие гниение стволов, ветвей и корней. К этой группе относятся 26 видов выявленных в области грибов-ксилотрофов. Формирование сообществ дереворазрушающих грибов складывается в силу ряда биотических, абиотических и антропогенных факторов. По С.П. Арефьеву [1], важное значение имеет жизненное состояние древесного субстрата, разделяемого на три основные категории:

1) жизнеспособные растущие деревья без существенных внешних повреждений. Для них характерны специфичные паразитические грибы, вызывающие центральную гниль. В дубовых древостоях области это следующие виды: *Inonotus dryophilus*, *Hapalopilus croceus*, *Polyporus squamosus*, *Phaeolus Schweinitzii*, *Lenzites betulinus*, *Bjerkandera adusta*, *Coriolus versicolor*, *Pleorotus ostreatus*;

2) механически поврежденные деревья или их фрагменты. Для них специфичны раневые грибы, проникающие непосредственно в обнаженную древесину. К этой категории относятся ветровал и бурелом, прижизненно пораженные паразитами (например, грибы *Polyporus squamosus*, *Fomes fomentarius*, *Ganoderma applanatum*);

3) усохшие на корню механически целостные деревья. Для таких субстратов характерны транскортикальные грибы, т.е. грибы, проникающие в древесину через механически поврежденные, лишенные коры участки (*Fistulina hepatica*, *Inonotus dryadeus*, *Armillaria mellea*, *Heterobasidion annosum*, *Rosellinia quercina*).

Установлено, что базидиальные ксилотрофы проявляют избирательное отношение к типу субстрата. Наименьшее число видов развивается на пнях и сухостое (по 4 вида), чуть больше (9 видов) на валежнике. На живых деревьях развивается 12 видов дереворазрушающих грибов.

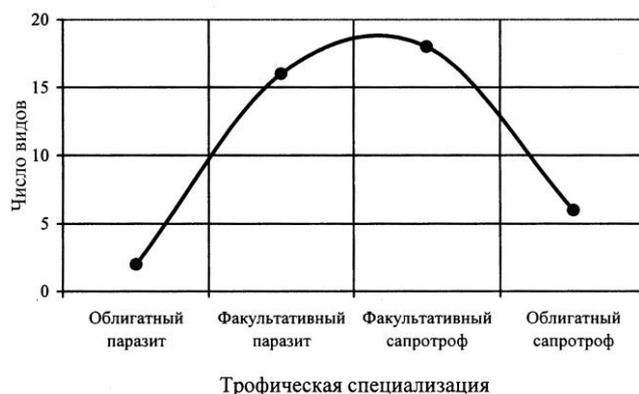
Немаловажен характер взаимоотношения выявленных видов грибов с субстратами, на которых они развиваются. Грибы по трофической

Таблица 4

**Распределение микобиоты дубовых насаждений  
по трофической специализации**

Пищевая специализация	Вид гриба
Облигатный паразит Факультативный сапротроф	<i>Microsphaera alphitoides</i> , <i>Rosellinia quercina</i> <i>Stromatinia pseudotuberosa</i> , <i>Ascochyta quercus</i> , <i>Chaetomium affine</i> , <i>Ch. globosum</i> , <i>Cytospora intermedia</i> , <i>Clithris quercina</i> , <i>Gloeosporium quercinum</i> , <i>Cytospora decipiens</i> , <i>Diaporthe quercus</i> , <i>Diathrypella quercina</i> , <i>Fistulina hepatica</i> , <i>Fusicoccum quercus</i> , <i>Hapalopilus croceus</i> , <i>Inonotus dryadeus</i> , <i>I. dryophilus</i> , <i>Lenzites betulinus</i> , <i>Mycosphaerella maculiformis</i> , <i>Phaeolus Schweinitzii</i> , <i>Phellinus robustus</i> , <i>Phyllosticta quercus</i> , <i>Septoria quercina</i> , <i>Vuilleminia comedens</i>
Факультативный паразит	<i>Armillaria mellea</i> , <i>Bjerkandera adusta</i> , <i>Ganoderma applanatum</i> , <i>G. lucidum</i> , <i>Phyllosticta quercina</i> , <i>Daedalia quercina</i> , <i>Fomes fomentarius</i> , <i>Heterobasidion annosum</i> , <i>Laetiporus sulphureus</i> , <i>Pholiota squarrosa</i> , <i>Polyporus squamosus</i> , <i>Stereum frustulosum</i> , <i>S. gausapatum</i> , <i>S. hirsutum</i>
Облигатный сапротроф	<i>Collybia velutipes</i> , <i>Coriolus hirsutus</i> , <i>C. versicolor</i> , <i>Lenzites betulinus</i> , <i>Marasmius prasiosmus</i> , <i>Sarcoscypha coccinea</i>

специализации, способу питания могут быть отнесены к облигатным и факультативным паразитам, факультативным и облигатным сапротрофам (табл. 4).



Распределение грибов по трофической специализации

Из таблицы видно, что большая часть патогенных грибов в обследованных территориях области представлена факультативными сапротрофами и паразитами (18 и 17 видов), облигатных сапротрофов и паразитов – 6 и 2 вида. Характер распределения грибов по пищевой специализации имеет более или менее выраженную тенденцию к нормальному распределению (см. рисунок).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арефьев С.П.* Специализация дереворазрушающих грибов в связи с жизненным состоянием субстрата /С.П. Арефьев // Матер. 5-й междунар. конф. «Проблемы лесной фитопатологии и микологии». – М., 2002. – С. 16–19.
2. *Гойман Э.* Инфекционные болезни растений / Э. Гойман. – М., 1954. – 342 с.
3. *Соколова И.Г.* Фитопатология: учеб. для студ. вузов / И.Г. Соколова, Э.С. Семенкова. – М., 2003. – 480 с.
4. *Чураков Б.П.* Взаимоотношение патогенных грибов с древесными растениями / Б.П. Чураков. – М., 1993.
5. *Чураков Б.П.* Патогенные грибы сосновых и дубовых древостоев Ульяновской области / Б.П. Чураков, В.А. Кублик, А.Б. Чураков. – Ульяновск, 1995. – 108 с.
6. *Яковлев И.А.* Дубравы Среднего Поволжья / И.А.Яковлев, А.С. Яковлев. – М., 1999. – 300 с.

Ульяновский государственный  
университет

Поступила 30.01.03

*B.P. Churakov, N.A. Evseeva*

**Analysis of Species Composition and Mycobiota Structure  
of Oak Forests in the Ulyanovsk Region**

Systematic list of fungi characteristic of oak stands in the Ulyanovsk region is provided. Distribution of fungi according to the substrate type and type of relationship with it is analyzed. Pathogens and main disease types of oak forests are given.

---

УДК 630\*561.24:630.111

**С.М. Матвеев**

Матвеев Сергей Михайлович родился в 1962 г., окончил в 1984 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 30 печатных работ в области лесной экологии, дендроклиматологии, устойчивости сосновых насаждений к антропогенным воздействиям.



### **ЦИКЛИЧНОСТЬ ПРИРОСТА СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ В 11-ЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

Рассмотрены даты экстремумов радиального прироста сосны обыкновенной в 125 – 140-летних древостоях. Показана возможность надежного прогнозирования динамики прироста сосны по фазам 11-летнего цикла солнечной активности.

*Ключевые слова:* сосна обыкновенная, радиальный прирост, цикличность, солнечная активность, климатические колебания.

Ежегодный прирост древесины по диаметру ствола у древесных пород умеренного климата имеет циклическую динамику. Прирост древостоев сосны обыкновенной в Центральной лесостепи Русской равнины полициклически: прослеживаются и накладываются циклы разных порядков, от 2-3-летних до вековых и многовековых. Наиболее заметен 10-12-летний цикл [2, 4, 7], первопричиной которого, очевидно, является 11-летний цикл активности Солнца [6, 9, 10 и др.], также наиболее изученный и даже пронумерованный: первым считается период от минимума 1755 г. до минимума 1766 г., с 1996 г. начался 23-й период. Непрерывные наблюдения за солнечной активностью охватывают три столетия (1700–2000 гг.), за это время выделяются три вековых цикла солнечной активности. Эпохи минимума отмечены на рубеже веков (1700–1710-е; 1800–1820-е; 2000-е и, очевидно, 2010-е гг.). Эпохи максимума наблюдались в 1770–1780-е; в 1830–1840-е и 1870-е; в 1940–1950-е и 1970–1980-е гг. [5, 6, 9].

В нашей работе рассмотрены даты экстремумов (календарные годы наиболее высоких максимумов или глубоких минимумов) радиального прироста сосны обыкновенной на четырех участках в 125–140-летних древостоях. Рассматриваемый период охватывает ветвь спада предыдущего векового цикла солнечной активности (1870–1900-е гг.) и последний вековой цикл, начавшийся эпохой минимума в 1900–1910-е гг. и заканчивающийся эпохой минимума в настоящее время. Даты экстремумов проанализированы на фоне изменчивости солнечной активности (выраженной в числах Вольфа (W)) в 11-летнем цикле за весь период роста древостоев.

Обследованные древостои сосны произрастают в свежих суборевых ( $B_2$ ) лесорастительных условиях, тип леса сосняк травяной с дубом (участки № 1–3) и свежих борových ( $A_2$ ), тип леса сосняк травяной (участок № 4). Именно эти экотопы (и приблизительно в той же пропорции) преобладают по площади в борах Центральной лесостепи. Участки № 1, 3, 4 расположены на территории Учебно-опытного лесхоза Воронежской лесотехнической академии, участок № 2 – в Сомовском лесхозе Воронежской области. На каждом участке возрастным буравом отобрано 10 ... 20 кернов древесины на высоте 1,3 м. Ширина годичных колец измерена под микроскопом МБС-9 с точностью 0,05 мм и выражена в относительных индексах [5].

Корреляционный анализ показал низкую тесноту прямолинейной связи изменчивости ширины годичных колец сосны (в относительных индексах) на обследованных участках с динамикой солнечной активности (в числах Вольфа): коэффициент корреляции  $r \leq 0,1$ . Нелинейная связь оказалась умеренной: корреляционное отношение  $\eta \leq 0,4$ .

Проведенный нами (с использованием компьютерной программы STADIA-98) спектральный анализ цикличности исследуемых дендрохронологических рядов индексов прироста (полученных с применением 11-летней скользящей средней) в качестве нормы прироста выявил наличие хорошо выраженных максимумов мощности. Основные максимумы спектральной плотности ряда № 1 (в годах периодов, по убыванию значимости) следующие: 10,6; 8,8; 13,3; 11,8; 4,4; 3,7; 4,2; 9,6; 7,6; ряда № 2 соответственно: 12,0; 15,4; 3,1; 5,1; 9,8; 13,5; 21,6; 6,4; 3,4; ряда № 3: 8,8; 12,0; 6,6; 6,0; 10,2; 13,2; 3,9; 8,3; 11,0; ряда № 4: 12,9; 10,6; 14,5; 8,3; 6,8; 7,3; 5,0; 2,5; 6,4. Во всех обследованных рядах определенные циклические составляющие вносят большой вклад в общую изменчивость по сравнению с соседними частотами, это следующие частотные полосы: 12,9 ... 13,5; 9,6 ... 12,0; 8,3 ... 8,8; 6,4 ... 7,6; 5,0 ... 5,1; 4,2 ... 4,4; 3,1 ... 3,9. Существование наиболее значимых частотных полос в обобщенных дендрохронологических рядах по хвойным породам (лиственница сибирская, ель Шренка) отмечалось и в других работах [3].

Выявление значимых циклов в нестандартизированных рядах, проведенное для участков № 3 и 4, позволило установить колебания с большим периодом и подтвердить важность уже выявленных циклов. В ряду № 3 это циклы (по убыванию значимости): 22,3; 44,7; 26,8; 12,2; 33,5; 14,9; 8,9; 6,7; 13,4; в ряду № 4: 14,8; 13,1; 23,6; 29,5; 16,7; 10,7; 9,8; 3,5; 39,3.

Кросс-спектральный анализ индексов прироста (ряды № 1 и 2) и солнечной активности (числа Вольфа) позволил обнаружить области резонанса совмещенных временных рядов (т. е. на каких частотах происходит синхронное изменение мощности). В свою очередь, передаточная функция представляет коэффициент усиления амплитуды спектра первого процесса (изменчивость прироста) за счет совмещения со вторым процессом (динамика солнечной активности). Кросс-спектр индексов прироста ряда № 1 с числами Вольфа (с 1880 г. по 1985 г.) показал резкое возрастание мощности при длине волны 10,6, здесь же наблюдается наибольшее значение переда-

точной функции. Самыми значимыми оказались также циклы: 9,6; 11,8; 8,8; 13,3. Кросс-спектр ряда № 2 с числами Вольфа (с 1882 г. по 1990 г.) показал максимальную мощность при длине волны 9,8, но передаточная функция выше при длине волны 10,8. Следующими по значимости оказались циклы: 12,0; 5,1; 21,6.

Оценка спектральной плотности хорошо характеризует частотную структуру дендрохронологических рядов. Однако методы спектрального анализа не нашли широкого применения из-за сложности статистических выводов, основанных лишь на оценках спектральной плотности [3].

Выявление циклов различной длительности и их вклада в общую циклическую динамику прироста деревьев не «привязано» к определенным годам, что значительно обедняет возможности реальной оценки циклов. Детальный визуальный анализ экстремумов прироста сосны в пределах фаз 11-летнего цикла солнечной активности позволяет выявить важные в прогностическом отношении тенденции в приросте деревьев.

В табл. 1–3 представлены календарные годы и значения наиболее глубоких минимумов и наиболее высоких максимумов прироста сосны в экотопах В<sub>2</sub> (табл. 1, 2) и А<sub>2</sub> (табл. 3). Для каждой даты экстремумов прироста указана соответствующая фаза 11-летнего цикла солнечной активности и число лет, прошедших от последнего экстремума (максимума или минимума соответственно) активности Солнца. Двойные стрелки (ветвь роста – ветвь спада (↑↓)) в 1906 и 1990 гг. появились в таблице благодаря двойным максимумам солнечной активности, которые за исследуемый интервал времени наблюдались трижды: 1905, 1907 гг. (W = 64, 62); 1968, 1969 гг. (W = 106); 1989, 1991 гг. (W = 158, 146).

В экотопе В<sub>2</sub>, на всех трех участках, два – три первых минимума радиального прироста (до 1897 г.), наблюдаемые в первые десятилетия роста древостоев и приходящиеся на окончание предыдущего векового цикла солнечной активности, отмечены в различные фазы активности Солнца. Начиная с 1897 г., все минимумы прироста, за редким (единичным для каждого участка) исключением, наблюдаются на ветви спада солнечной активности.

Наиболее глубокие минимумы прироста сосны в экотопе В<sub>2</sub> характеризуют цикличность прироста со средним периодом около 11 лет и наблюдаются в следующие календарные годы: 1897, 1910–1911, 1920–1921, 1929–1933, 1938–1939, 1949–1950, 1959–1960, 1971–1973, 1984–1985, 1995–1996 гг.

Наличие ярких промежуточных минимумов в 11-летней цикличности прироста: 1891, 1905–1906, 1924–1925, 1946, 1956, 1964–1965, 1975, 1981, 1992 гг., в некоторых древостоях не менее глубоких, чем основные, показывает цикличность с периодом 5-6 лет (половина 11-летнего солнечного цикла). Колебания с периодом 5-6 лет имеет целый ряд климатических процессов, например явление ЮКЭН (Южное колебание – Эль-Ниньо), характеризующее изменения циркуляции атмосферы нашей планеты и климатические ритмы.

Таблица 1

Анализ экстремумов прироста сосны в экотопе В<sub>2</sub> по фазам солнечной активности  
(1870–1998 гг.)

(↑ - ветвь роста, ↓ - ветвь спада, max - эпоха максимума, min – эпоха минимума солнечной активности)

Год экстремума чисел Вольфа (W)		Минимумы прироста, участок № 1			Максимумы прироста, участок № 1			Минимумы прироста, участок № 2			Максимумы прироста, участок № 2			Минимумы прироста, участок № 3			Максимумы прироста, участок № 3			
min	max	min	Фаза W	Лет за max W	max	Фаза W	Лет за min W	min	Фаза W	Лет за max W	max	Фаза W	Лет за min W	min	Фаза W	Лет за max W	max	Фаза W	Лет за min W	
1867	1870																			
1878	1883-1884	1884	max					1882	↑					1878	min		1870	max		
1889	1893				1890	↑	1				1890	↑	1	1885	↓	1	1888	↓		
		1891	↑					1891	↑					1891	↑					
								1893	max	0	1895	↓								
1901	1905, 1907	1897	↓	4	1903	↑	2	1897	↓	4	1898	↓		1897	↓	4	1899	↓		
		1905	max	0				1906	↑↓	1	1908	↓								
1913	1917				1913	min	0	1911	↓	4	1914,	↑	1	1910	↓	3	1916,	↑	3	
								1916	↑		1916	↑					1917	max		
1923	1928	1921	↓	4	1927	↑	4	1921	↓	4	1928	max		1921	↓	4	1929	↓		
1933	1937	1929	↓	1	1937	max		1933	min		1935	↑	2	1933	min		1937	max		
1944	1947	1939	↓	2	1944	min	0	1939	↓	2	1941,	↓	1	1939	↓	2	1947	max		
											1945	↑								
		1950	↓	3	1955	↑	1	1946	↑		1955	↑	1	1950	↓	3	1955	↑	1	
1954	1957	1959	↓	2										1959	↓	2	1963	↓		
1964	1968-1969				1966	↑	2	1964	min		1966	↑	2	1965	↑		1970	↓		
1974	1979	1972-	↓	3	1978,	↑	4	1971,	↓	2	1978	↑	4	1972	↓	3	1978	↑	4	
		1973	↓	4	1980	↓		1973	↓	4										
1986	1989, 1991	1984-	↓	5				1984	↓	5	1990	↑↓	4	1984	↓	5	1990	↑↓	4	
		1985	↓	6																
1996														1992	↓	3	1998	↑	2	

Таблица 2

Значения индексов прироста сосны (*I*) в экотопе В<sub>2</sub> в годы экстремумов, %

Участок № 1				Участок № 2				Участок № 3			
Минимум прироста		Максимум прироста		Минимум прироста		Максимум прироста		Минимум прироста		Максимум прироста	
Год	<i>I</i> , %	Год	<i>I</i> , %	Год	<i>I</i> , %	Год	<i>I</i> , %	Год	<i>I</i> , %	Год	<i>I</i> , %
1884	85			1882	74			1878	85	1870	123
		1890	117			1890	121	1885	83	1881	116
1891	79			1891	74			1891	73	1888	117
				1893	73	1895	134				
1897	71	1903	135	1897	80	1898	134	1897	83	1899	115
1905	75			1906	85	1908	124				
		1913	122	1911	70	1914	125	1910	76	1916	142
						1916	125			1917	143
1921	73	1927	129	1921	57	1928	111	1921	59	1929	113
1929	80	1937	135	1933	87	1935	125	1933	92	1937	128
1939	58	1944	137	1939	69	1941	129	1939	77	1947	122
						1945	124				
1950	72	1955	121	1946	62	1955	129	1950	55	1955	139
1959	78							1959	83	1963	117
		1966	122	1964	59	1966	181	1965	84	1970	144
1972	71	1978	124	1971	63	1978	183	1972	54	1978	133
1973	68	1980	147	1973	57						
1984	73			1984	52	1990	173	1984	59	1990	161
1985	70										
								1992	59	1998	110

Таблица 3

Анализ экстремумов прироста сосны в экотопе А<sub>2</sub> по фазам солнечной активности (1887 – 1998 гг.)

Год экстремума чисел Вольфа (W)		Минимумы прироста, участок № 4				Максимумы прироста, участок № 4			
min	max	min	Фаза W	Лег за max W	min <i>I</i> , %	max	Фаза W	Лег за min W	max <i>I</i> , %
1889	1893	1891	↑		55	1887	↓		138
1901	1905, 1907	1897	↓	4	79	1899	↓		115
						1906	↑↓	1	116
1913	1917	1911	↓	6	52	1914	↑	1	163
1923	1928	1921	↓	4	60	1927	↑	4	133
1933	1937	1932	↓	4	77	1937	max		157
1944	1947	1939	↓	2	69	1945	↑	1	138
1954	1957	1949	↓	2	75	1955	↑	1	130
1964	1968, 1969	1960	↓	3	81	1966	↑	2	118
1974	1979	1972	↓	4	69	1978	↑	4	120
1986	1989, 1991	1984	↓	5	75	1989	max		158
1996		1992	↓	3	45	1997	↑	1	118

Максимумы прироста в экотопе В<sub>2</sub> менее показательны в прогностическом отношении, чем минимумы: здесь чаще наблюдается отклонение от прямой связи экстремумов прироста с фазами солнечной активности. Такое распределение объясняется тем, что ветвь роста значительно короче ветви спада и обычно составляет 3-4 года.

Наличие временного сдвига цикличности прироста на рубеже XIX–XX вв., при смене векового цикла солнечной активности подтверждает ранее обоснованное положение [1, 3, 4, 8] об изменчивости циклов во времени: по продолжительности, амплитуде, полярности связей и т. д. Это еще раз подчеркивает необходимость оценки климатических условий, изменчивости прироста за отдельные, сравнительно однородные временные этапы. По нашим данным, в последнем 30-летии в лесостепи преобладает прямая зависимость между изменением значений солнечной активности и прироста сосны. Наличие синхронной связи в динамике солнечной активности и прироста древостоев отмечали многие исследователи [1, 10], в частности и в лесостепи [5 – 7].

Влияние солнечной активности на изменчивость прироста деревьев является опосредованным. Можно считать доказанным наличие последовательной зависимости: солнечная активность → циркуляция атмосферы → климатические изменения → прирост деревьев [2, 4, 9]. М.П. Скрыбин [6], отмечая, что период минимума векового цикла солнечной активности в последние три столетия совпадал с последним десятилетием оканчивающегося века и первым десятилетием начинающегося, указывал, что в эти периоды в условиях лесостепи наблюдалась длительная засушливая погода и создавались неблагоприятные условия для роста леса.

В экотопе А<sub>2</sub>, т. е. в более экстремальных (по плодородию почвы) условиях, в борах, зависимость между приростом сосны и фазами солнечной активности значительно более четкая, чем в субборах. Наличие хорошо выраженных связей между климатом и приростом в экстремальных условиях отмечали и другие исследователи [1, 8], как и лучшее проявление циклической динамики прироста [4, 7].

В свежем бору максимумы прироста сосны отмечены на ветви роста (начиная с 1906 г., т. е. в последнем вековом цикле), причем чаще (5 раз из 10 циклов) через 1 год после минимума солнечной активности. Минимумы прироста сосны (также с начала века, с 1897 г.) наблюдались всегда на ветви спада.

За исследуемый интервал времени одновременно на всех четырех участках экстремумы прироста были в следующие годы: 1891, 1897, 1921, 1939, 1971 – 1973, 1984 гг. (минимумы прироста) и 1955, 1978 гг. (максимумы прироста). За исключением 1891 г., все минимумы находились на ветви спада солнечной активности, оба максимума – на ветви роста. Периоды между основными минимумами характеризуют длительность различных циклов прироста сосны: 1891 – 1897 (6 лет), 1897 – 1921 (24 года), 1921 – 1939 (18 лет), 1939 – 1972 (33 года), 1972 – 1984 (12 лет).

Как видим, минимумы прироста более ценны для синхронизации данных, перекрестной датировки, при выявлении общих закономерностей и прогнозировании. Все они совпадают с серьезными засухами, количество осадков за вегетационный период и за год в указанные годы значительно ниже среднего: 1891 г. – 128 мм за вегетационный период (при среднем многолетнем 307 мм) и 263 мм за год (при среднем многолетнем 520 мм), остальные минимумы соответственно: 1897 г. – 160 (307), 1921 г. – 195 (364), 1939 г. – 172 (382), 1971 г. – 158 (401), 1984 г. – 244 (422) мм. Обращает на себя внимание рост осадков за год в годы минимумов прироста – это результат наступления многоводного периода в лесостепи [5].

Для практики лесного хозяйства, при проектировании лесохозяйственных мероприятий на ревизионный период (10 лет), актуален прогноз изменчивости климатических условий в 11-летнем цикле солнечной активности. Надежный прогноз периодов с повышенными и пониженными (вследствие неблагоприятной климатической обстановки) приростами древостоев позволит «привязать» проведение различных лесохозяйственных работ к определенным календарным годам ревизионного периода. Изменение темпов радиального и объемного прироста (с определенной периодичностью) дает вариации в десятки процентов (от 60 ... 80 до 160 ... 180 %), что существенно меняет реальную картину результатов проведения лесохозяйственных мероприятий.

Текущее десятилетие (2002–2012 гг.) приходится на эпоху минимума векового цикла солнечной активности. В Центральной лесостепи Русской равнины возможно некоторое снижение количества выпадающих осадков в этот период, связанное с вековыми колебаниями климатических условий. Следует также ожидать дальнейшего роста температуры приземных слоев воздуха, вызванного как естественными колебаниями климата, так и антропогенным воздействием (усилением парникового эффекта). Усиливается загрязнение атмосферы, рекреационное воздействие, т. е. в целом создаются неблагоприятные условия для роста древостоев. В 11-летнем цикле солнечной активности максимум наблюдался в 2000 г. В пределах текущего десятилетия (после эпохи максимума, с 2002 г.) неблагоприятными следует считать первые 5–7 лет (ветвь спада и эпоха минимума 11-летнего цикла).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Комин Г.Е.* Цикличность в динамике лесов Зауралья: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Г. Е. Комин. – Свердловск, 1978. – 39 с.
2. *Костин С.И.* Повторяемость засушливых и влажных периодов в центральной части лесостепи Русской равнины / С.И. Костин // Вопросы повышения продуктивности лесного хозяйства: науч. записки Воронеж. лесотехн. ин-та. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1963. – Т. 29, вып. 1. – С. 91–101.
3. *Мазепа В.С.* Использование спектрального представления и линейной фильтрации стационарных последовательностей при анализе цикличности в дендрохронологических рядах / В.С. Мазепа // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 49–65.

4. *Матвеев С.М.* Дендрохронология: учеб. пособие / С.М. Матвеев. – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2001. – 88 с.
5. *Матвеев С.М.* Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи / С.М. Матвеев. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. – 272 с.
6. *Скрябин М.П.* Дубовые леса и вековые циклы в природных условиях / М.П. Скрябин // Восстановление и повышение производительности дубрав лесостепи: науч. записки Воронеж. лесотехн. ин-та. – Воронеж, 1960. – Т. 20. – С. 211–217.
7. *Таранков В.И.* Цикличность прироста сосны обыкновенной в восточно-европейской лесостепи / В.И. Таранков, Л.Б. Лазуренко // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 12–19.
8. *Шиятов С.Г.* Дендрохронология, ее принципы и методы / С.Г. Шиятов // Записки Свердлов. отд. Всесоюз. ботанич. общества. – Свердловск, 1973. – Вып. 6. – С. 53–81.
9. *Эйгенсон М.С.* Солнце, погода и климат / М.С. Эйгенсон. – Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 229 с.
10. *Douglass A.E.* Climatic cycles and tree growth: A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity / A.E. Douglass. - Washington: Carnegie Inst., 1919. – Vol. 1. – P. 127; 1928. – Vol. 2. – P. 166; 1936. – Vol. 3. – P. 171.

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 22.07.04

*S.M. Matveev*

### **Cycling of Pine Stands Growth in Central Forest-steppe in 11-year Cycle of Solar Activity**

The dates of radial accretion extremes of Scots pine in 125-140-year stands are analyzed. The possibility of reliable forecasting of pine growth dynamics according to phases of 11-year solar activity cycle is demonstrated.

---

УДК 630\*232.11:582.475.4(470.22)

**Б.В. Раевский, А.А. Мордась**

Раевский Борис Владимирович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории лесовосстановления Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет 44 печатные работы в области лесной интродукции, селекции и семеноводства.



Мордась Анатолий Артемович родился в 1932 г., окончил в 1956 г. Украинскую сельскохозяйственную академию, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории лесовосстановления Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет 76 печатных работ в области искусственного лесовосстановления, селекции и семеноводства.



**ХОД РОСТА КУЛЬТУР СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ  
В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ**

Методом закладки постоянных пробных площадей исследованы показатели роста и развития испытательных культур сосен скрученной и обыкновенной на юге Карелии. Показано, что в 15-летних культурах интродуцент сохраняет свое преимущество в росте перед аборигенным видом но за последнее пятилетие разница между ними существенно сократилась.

*Ключевые слова:* интродукция, сосна скрученная, испытательные культуры, рост, сохранность, продуктивность.

Для лесохозяйственного направления в интродукции, в отличие от садово-паркового, практический интерес всегда представляли породы, способные в данных почвенно-климатических условиях образовывать высокопродуктивные насаждения определенного назначения. Прежде всего, это касалось хвойных видов, дающих в короткие сроки ценное древесное сырье.

Один из ярких примеров – лесное хозяйство Новой Зеландии [9], практически полностью базирующееся на плантационном выращивании экзотов, в частности сосны замечательной (*Pinus radiata* D. Don). Как отмечает Т. Эрикссон [7], в свое время этот пример вдохновил шведских лесоводов на поиски быстрорастущего аналога для умеренных широт. Результатом стало широкое распространение в Швеции сосны скрученной (*Pinus contorta*, ssp. *latifolia* S. Watson), площадь культур которой сегодня составляет не менее 700 тыс. га при годовом лимите посадки 14 тыс. га. Несмотря на проблемы, связанные с выращиванием монокультур этой породы в диапазоне 60 ... 68 ° с. ш., она оценивается как светолюбивая, пионерная и быстрорастущая. По уточненным оценкам [6], сосна скрученная при обороте рубки 65 ... 75 лет в

широком спектре условий местопроизрастания средней и северной подзона тайги способна повышать общую производительность древостоя на 30 ... 40 % по сравнению с аборигенной сосной обыкновенной. С учетом опыта Скандинавии и результатов культивирования в нашей стране, сосна скрученная рассматривается как весьма перспективный объект интродукции [1].

Не оспаривая приоритета аборигенных пород в искусственном лесовосстановлении, сосна скрученная, по нашему мнению, могла бы в подзоне средней тайги (севернее 60 ° с. ш.) стать достойной альтернативой ели, культуры которой сильно повреждаются здесь весенними и раннеосенними заморозками.

Программа создания лесосырьевых плантаций сосны скрученной в Швеции имела немало противников, утверждавших, что широкому использованию данной породы в культурах должны предшествовать испытания продолжительностью не менее половины оборота рубки. Однако, как заметил Сегебаден [8], при разведении экзотов различные сюрпризы возможны через десятки и даже сотни лет их выращивания. В связи с этим долговременное изучение роста и развития культур интродуцентов, в том числе сосны скрученной, может дать много нового и неожиданного; не исключено, что отношение к ней может быть пересмотрено.

В настоящей работе представлены результаты очередного этапа начатых в 1988 г. исследований хода роста происхождений сосны скрученной в испытательных культурах Видлицкого лесничества Олонецкого лесхоза Карелии [4]. Общая площадь культур 13,3 га, в том числе опытных 5,9 га. Ряды ориентированы по длинной стороне (433 м) в направлении юг – север.

Первоначально задача исследований ограничивалась сравнительным анализом успешности роста и сохранности отдельных вариантов сосны обыкновенной между собой и по отношению к контролю. Такой же подход принят и для сосны скрученной: сравнительный анализ роста вариантов в группах, далее между группами и в целом по отношению к сосне обыкновенной. В принципе это актуально и в перспективе. Позже была сформулирована более общая задача изучения хода роста и развития данного культурфитоценоза путем организации наблюдений на постоянных пробных площадях. Проба № 1 площадью 1,0 га включила в себя все варианты обоих видов, заложенных трехлетними саженцами (1 т + 2). Для характеристики культур, созданных тепличными однолетками, были заложены две пробы (№ 2 и 3) по 0,5 га. Таким образом, площадь сплошного перечета составила 2 га, или 30 % общей площади опыта.

В 1997 г. сохранность определяли по данным учета на всей площади как процент живых растений от числа высаженных. Далее в каждом варианте подбирали хорошо сохранившиеся участки рядов, где измеряли 100 ... 150 живых деревьев. В 2002 г. на пробах описывали все растения. Как и ранее, качество ствола оценивали по четырехбалльной шкале: 1 – прямые; 2 – слабоискривленные; 3 – сильноискривленные; 4 – кустовидные (осевой побег не выражен). Отдельно учитывали число наклоненных деревьев и явно выраженных двойчаток, а также экземпляры усохшие, со сломанной верши-

ной, обглоданной корой, отставшие в росте и с закрытой вершиной для оценки потенциального отпада.

Диаметр на высоте груди замеряли с точностью до 1 мм. Для построения графика высот определяли высоты с точностью до 10 см у 50 саженцев сосны обыкновенной и сосны скрученной и у такого же количества сеянцев. Материалы обрабатывали и анализировали по 2-сантиметровым ступеням толщины. Объемы стволов находили по таблицам Изюмского [2]. По наличию свежих шишек определяли число плодоносящих деревьев. Первичные данные обрабатывали и анализировали по вариантам, их группам и в целом по породам общепринятыми статистическими и лесотаксационными методами.

В 1997 г. сохранность саженцев сосны скрученной составила 72, обыкновенной – 70 %, у сеянцев обоих видов – 64 %. По данным учета 2002 г., у саженцев отпад по числу стволов был определен в размере 0,4 % для аборигенной сосны и 1,0 % для интродуцента, среди сеянцев погибших растений не было. Поэтому общий показатель сохранности сеянцев остался на прежнем уровне (64 %), а у саженцев немного изменился: сосна скрученная – 71, сосна обыкновенная – 69,6 %.

В 2002 г. при отбивке пробных площадей в натуре была уточнена общая площадь опыта и схема размещения посадочного материала. Выяснилось, что среднее расстояние между рядами составило 4,3 м вместо положенных 3,0 м. Поэтому исходная густота культур оказалась заниженной: по саженцам в 1,8 раза (1852 шт./га), по сеянцам в 2,2 раза (1513 шт./га). Согласно рекомендациям ЛенНИИЛХ [3] для плантационных культур такая густота должна быть в возрасте насаждений 20 ... 25 лет. Исходя из этого, можно предположить, что смыкание в междурядьях произойдет позже предполагаемых сроков и пока нет потребности в прореживаниях. В настоящее время на пробе № 1 (1,0 га) сформировалось смешанное насаждение составом 7С об.3С скр. (915 саженцев сосны обыкновенной и 381 – сосны скрученной). На остальной площади (4,9 га) соотношение пород по числу стволов практически равное 5,1С об. 4,9С скр. (2398 сеянцев сосны обыкновенной и 2344 – сосны скрученной).

В опыте сосна обыкновенная была представлена посадочным материалом, выращенным из семян различных селекционных категорий (нор-

Таблица 1

**Происхождение семенного материала или материнских деревьев клонов, представленных в опыте**

Вариант	Регион	Место происхождения (лесхоз)	Широта, град с. ш.	Долгота, град	Высота над уровнем моря, м	Климатип (подвид)
Сосна обыкновенная (долгота восточная)						
Чула	Республика Карелия	Лоухский	66°10'	33°00'	150	<i>Ssp. lapponica</i>
Ругозеро	«	Муезерский	64°05'	32°40'	150	«

Олонец	«	Олонецкий	61°00'	33°00'	100	<i>Sp. sylvestris</i>
Контроль	«	«	61°00'	33°00'	100	«
Сосна скрученная (долгота западная)						
Импиллахти	Республика Карелия	Питкяранский	61°40'	31°10'	100	Нет данных
Сортавала	«	Сортавальский	61°43'	30°45'	100	«
S23A8560230	Alberta	Hines Creek	56°10'	118°30'	825	Fort St. John
S23A8560231	«	Saddle Hills	55°44'	119°40'	609	«
S23A8560229	«	Cutbank	54°35'	119°00'	1066	«
S23A8560227	«	Swan Hills	54°30'	115°30'	1066	Alberta
S23A8560228	«	Marlbroedson	53°55'	116°50'	1036	«

мальные, улучшенные, гибридные). Шишки собирали в естественных насаждениях и на прививочной ЛСП Олонецкого лесхоза. Сосна скрученная имела как местное карельское (Импиллахти, Сортавала), так и непосредственно канадское происхождение (табл. 1)

Как следует из таблицы, клоны с Олонецкой прививочной ЛСП имеют различное географическое происхождение и представляют северную, среднюю и южную части республики. Все варианты экзота происхождения из восточной части его ареала, из одной административной расположенной в Карелии (рис. 1).

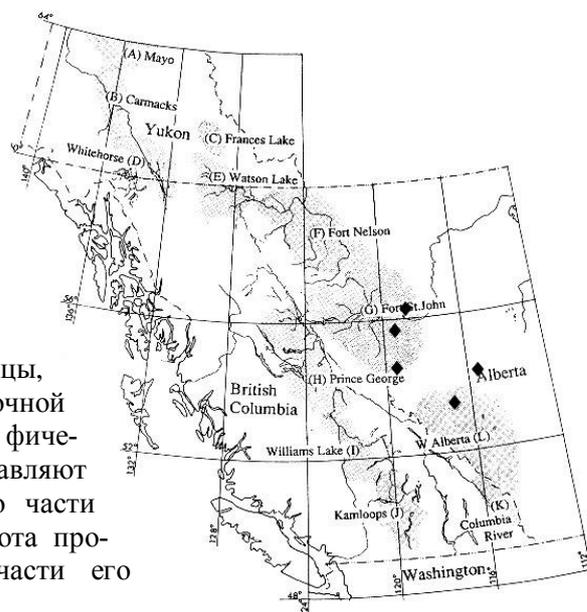


Рис. 1. Естественный ареал сосны скрученной (♦ – происхождения, представленные в опыте)

Таблица 2

Агроклиматические показатели части естественного и интродукционного ареалов сосны скрученной

Показатели	Канада, провинция Alberta (50...56° с. ш., 112...120° з. д.)	Россия, Республика Карелия, Олонецкий район (61...62° с. ш., 30...33° в. д.)
Высота над уровнем моря, м	600...1220	50...100
Средняя температура, °С:		
годовая	2,0	2,4
января	-15	-10,3

июля	16	16,1
Годовые осадки, мм	760	584
Безморозный период, дн.	75	111
Сумма температур $\geq 5^\circ$	1600	1893
Продолжительность вегетационного периода, дн.	160	158
Индекс континентальности	40...50	36...42

Анализ основных агроклиматических показателей части естественного и интродукционного ареалов (табл. 2) свидетельствует об их значительном сходстве. Различия определяются более выраженной континентальностью климата восточных предгорий Скалистых гор.

Разведение сосны скрученной в Карелии означает перенос ее в условия умеренно-континентального климата с элементами морского. В осенне-зимний период для него характерны обильные осадки в виде тяжелого мокрого снега, что может создавать проблемы, связанные с биомеханической устойчивостью растений. Это подтверждается большим опытом разведения данного экзота в Швеции [5].

Обобщенные данные о росте культур, созданных саженцами, в высоту приведены на рис. 2, а. С первых лет жизни сосна скрученная росла чуть

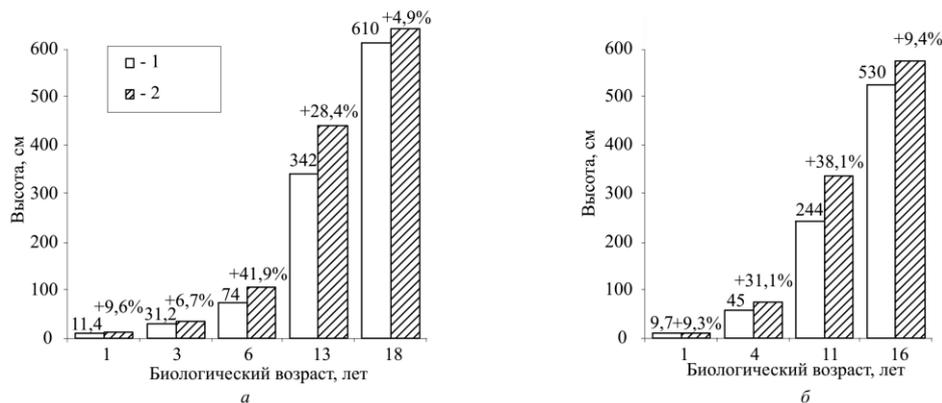


Рис. 2. Ход роста в высоту на пробе № 1: а – саженцы; б – сеянцы; 1 – сосна обыкновенная; 2 – сосна скрученная

быстрее сосны обыкновенной. Различие между видами на всех возрастных этапах было статистически достоверным, но неодинаковым по величине. Наибольшая относительная разница отмечена в 3-летних культурах (биологический возраст 6 лет). Далее намечается тенденция к ее уменьшению. Структура элементов леса – сосен обыкновенной и скрученной – дана в табл. 3. В основу таблицы положено распределение стволов по ступеням толщины. В целом коэффициент вариации диаметра довольно высок и составляет 34,8 % у сосны обыкновенной и 27,5 % у сосны скрученной. У аборигенной сосны встречены живые особи диаметром от 0,8 до 15,3 см и высотой 2,0 ... 8,0 м. У интродукента размах колебаний составил 1,4 ... 16,6 см

по диаметру и 2,2 ... 8,3 м по высоте. Сосна скрученная превосходила сосну обыкновенную по высоте на 4,9, по диаметру на 11,9, а по среднему объему ствола на 19,7 %. Относительная полнота на пробе равнялась 0,4. При расчете как по запасам, так и по числу стволов состав насаждения – 7С об.3С скр. Общий запас – 33,4 м<sup>3</sup>/га. Текущий годичный прирост за последнее пятилетие составил 5,12 м<sup>3</sup>/га, причем в перерасчете на 1 га у аборигенной сосны и интродуцента был практически равным (5,12 и 5,13 м<sup>3</sup>/га).

Как уже упоминалось, естественный отпад за истекшие 5 лет был невелик. На пробе отмечено по четыре усохших дерева каждого вида, что составило 0,4 и 1,0 % от общего числа деревьев соответственно сосны обыкновенной и сосны скрученной.

Для сосны скрученной характерно раннее вступление в генеративную фазу (примерно с 5-летнего возраста). В 2002 г. свежие шишки имели 60,9 % особей интродуцента и 11,1 % – аборигенного вида. У деревьев обоих видов низших рангов (первые две ступени толщины) репродуктивная деятельность отсутствует. По мере повышения ранга в социальной структуре древостоя доля плодоносящих особей увеличивается, достигая 86 % (сосна скрученная) и 48,4 % (сосна обыкновенная) в ступени 13 см. Такие особенности биологии экзота создают весьма благоприятные предпосылки для формирования постоянных лесосеменных участков данной породы на базе опытных культур.

Причины, снижающие стройность ствола и его качество, подробно обсуждались нами ранее [4]. При последнем обследовании обе породы получили одинаковый средний балл стройности ствола (1,7). Это означает, что около 1/2 деревьев имели стройный бездефектный ствол и более чем у 1/3 особей отмечено незначительное искривление в базальной части ствола. С увеличением ступени толщины оценка стройности ствола становится выше (табл. 3). Иными словами, особи высоких рангов имеют лучшую форму ствола. При обследовании в 1997 г. сосна обыкновенная имела оценку 1,74, сосна скрученная – 1,9 балла. Выравнивание оценок можно объяснить, во-первых, некоторой субъективностью глазомерной оценки прямизны ствола в баллах, во-вторых, активным действием в первые годы после посадки факторов, вызывающих искривление стволика. В дальнейшем, если растению ничего не мешает, осевой побег формируется правильно и дефекты у основания ствола со временем становятся менее заметными.

Таблица 3

Параметры саженцев, проба № 1 (2002 г.)

Ступень толщи- ны, см	Число стволов Запас, м <sup>3</sup>	То же, %	Плодоношение, шт. / %		Качество стволов, балл	Двой- чатки	Снего- вал шт. / %	Закрытая вершина
			Есть	Нет				
Сосна обыкновенная								
1	$\frac{15}{0,01031}$	$\frac{1,6}{0,0}$	–	$\frac{15}{100,0}$	2,5	$\frac{1}{6,7}$	$\frac{1}{6,7}$	$\frac{7}{46,7}$
3	$\frac{68}{0,13736}$	$\frac{7,4}{0,6}$	–	$\frac{68}{100,0}$	2,0	$\frac{1}{1,5}$	$\frac{5}{7,4}$	$\frac{27}{39,7}$

5	<u>127</u> 0,79248	<u>13,9</u> 3,56	<u>1</u> 0,8	<u>126</u> 99,2	2,0	–	<u>8</u> 6,3	29 22,8
7	<u>186</u> 2,59656	<u>20,3</u> 11,65	<u>6</u> 3,2	<u>180</u> 96,8	1,6	–	<u>25</u> 13,4	<u>6</u> 3,2
9	<u>248</u> 6,15040	<u>27,1</u> 27,59	<u>16</u> 6,5	<u>132</u> 53,2	1,6	<u>1</u> 0,4	<u>8</u> 3,2	<u>1</u> 0,4
11	193 7,72000	<u>21,1</u> 34,63	<u>40</u> 20,7	<u>153</u> 79,3	1,6	<u>1</u> 0,5	<u>2</u> 1,0	<u>1</u> 0,5
13	<u>64</u> 3,73120	<u>7,0</u> 16,74	<u>31</u> 48,4	<u>33</u> 51,6	1,5	–	–	–
15	<u>14</u> 1,15220	<u>1,5</u> 5,17	<u>8</u> 57,1	<u>6</u> 42,9	1,6	–	–	–
Итого	<u>915</u> 22,2905	<u>100,0</u> 100,0	<u>102</u> 11,1	<u>713</u> 77,9	1,7	<u>4</u> 0,4	<u>49</u> 5,4	<u>71</u> 7,8

## Сосна скрученная

1	<u>3</u> 0,00219	<u>0,8</u> 0,0	–	<u>3</u> 100,0	2,0	<u>1</u> 33,3	<u>1</u> 33,3	<u>2</u> 66,7
3	<u>8</u> 0,01616	<u>2,1</u> 0,1	–	<u>8</u> 100,0	1,6	<u>2</u> 25,0	<u>1</u> 12,5	<u>6</u> 75,0
5	<u>31</u> 0,20150	<u>8,1</u> 1,81	<u>6</u> 19,4	<u>25</u> 80,6	1,7	<u>1</u> 3,2	<u>5</u> 16,1	<u>7</u> 22,6
7	<u>77</u> 1,07492	<u>20,2</u> 9,68	<u>34</u> 44,2	<u>43</u> 55,8	2,0	<u>7</u> 9,1	<u>7</u> 9,1	<u>1</u> 1,3
9	<u>106</u> 2,65636	<u>27,8</u> 23,92	<u>66</u> 62,3	<u>40</u> 37,7	1,6	<u>9</u> 8,5	<u>7</u> 6,6	–
11	<u>110</u> 4,40000	<u>28,9</u> 39,62	<u>87</u> 79,1	<u>23</u> 20,9	1,6	<u>6</u> 5,5	<u>3</u> 2,7	–
13	<u>43</u> 2,50690	<u>11,3</u> 22,57	<u>37</u> 86,0	<u>6</u> 14,0	1,6	<u>1</u> 2,3	–	–
15	<u>3</u> 0,24690	<u>0,8</u> 2,22	<u>2</u> 66,7	<u>1</u> 33,3	1,3	–	–	–
Итого	<u>381</u> 11,10	<u>100,0</u> 100,0	<u>232</u> 60,9	<u>149</u> 39,1	1,7	<u>27</u> 7,1	<u>24</u> 6,3	<u>16</u> 4,2

Примечание. Средний диаметр сосны обыкновенной 8,4, скрученной – 9,4 см; средняя высота соответственно 6,1 и 6,4 м; средний объем ствола 0,02436 и 0,02915 м<sup>3</sup>; относительная полнота 0,28 и 0,14.

Доля двойчаток заметно больше у сосны скрученной, что отмечено и при ее выращивании в Скандинавии. У интродукта двойчатки встречаются практически во всех ступенях толщины, кроме последней. Вполне логично, что их доля среди угнетенных особей больше, так как вероятность повреждения верхушечной почки здесь выше. Доля снеговальных растений у обоих видов оказалась почти равной (5,0 ... 5,5 %). Практически весь снеговал уже был учтен в 1997 г., но большинство деревьев до сих пор живы и имеют зеленую хвою. За последние 5 лет отмечены только единичные случаи наклона стволов под тяжестью снега. Доля особей с закрытой вершиной, т. е. в той или иной мере угнетенных, у сосны обыкновенной оказалась поч-

ти в два раза больше, чем у скрученной. С этим связан и более высокий коэффициент вариации ее диаметра, что позволяет прогнозировать в ближайшие годы увеличение объема естественного отпада у аборигенного вида.

В культурах встречались незначительные повреждения саженцев лосями: характерный слом вершины у сосны обыкновенной (1,2 %) и обгладывание коры у сосны скрученной (1,0 %). В целом же доля поврежденных лосями деревьев сосны обыкновенной составила 1,3, сосны скрученной – 1,5 % от числа всех живых стволов на пробе.

Показатели роста и развития в культурах, созданных однолетними тепличными сеянцами довольно существенно отличались от соответствующих параметров саженцев (табл. 4).

Таблица 4

**Испытательные культуры, посадочный материал – сеянцы (1т), пробы № 2, 3**

Вариант	Диаметр на 1,3м, см	Высота, м	Средний объем ствола, м <sup>3</sup>	Качество ствола, балл	Двойчатки, %	Плодоносящие деревья, %
Сосна обыкновенная						
24 Чупа	7,1	5,1	0,0145	1,2	2,0	0
Ругозеро	7,0	5,1	0,0160	1,2	2,0	8,0
2 Олонец	8,3	5,5	0,0212	1,1	2,0	6,0
3 Олонец	7,6	5,3	0,0183	1,3	0,0	0,0
Контроль	7,6	5,3	0,0180	1,2	2,0	0,0
Среднее	7,5	5,3	0,0175	1,2	1,6	2,8
Сосна скрученная						
Имплахти	8,0	5,6	0,0206	1,5	2,0	72,0
Сортавала	7,6	5,5	0,0187	1,3	2,2	60,0
Среднее	7,8	5,6	0,0197	1,4	2,1	66,3
S23A8560230	8,2	5,7	0,0214	1,5	2,0	74,0
S23A8560231	8,0	5,6	0,0196	1,1	2,0	34,0
S23A8560229	8,0	5,6	0,0210	1,3	2,0	32,0
S23A8560227	9,6	6,1	0,0290	1,1	0	56,0
S23A8560228	9,5	6,1	0,0295	1,3	6,0	42,0
Среднее	8,6	5,8	0,0241	1,3	2,8	47,2
Общее среднее	8,4	5,8	0,0229	1,3	2,6	52,5

Сосна обыкновенная здесь была представлена несколькими вариантами, и за истекшие 5 лет изменилось ранговое положение некоторых из них. Лидирующее положение заняли олонецкие варианты (2Ол, 3Ол). Потомство клона 2Ол статистически достоверно превосходило контроль по диаметру. Вариант 24 Чупа уже уступает в росте контролю, хотя в 1997 г. следовало сразу за олонцами. Потомство клонов из Ругозерского лесхоза оказалось самым медленнорастущим. Подобное ранжирование этих вариантов наблюдается и на других участках испытательных культур.

Потомства сосны скрученной из карельских семян (Имплахти и Сортавала) внешне и по параметрам роста практически не отличались от

большинства канадских вариантов. У последних некоторое преимущество в росте имели два самых южных по происхождению. Опыт длительных наблюдений, однако, показывает, что пока рано делать вывод о достоинствах одних и недостатках других.

Наибольшее различие в росте между видами наблюдалась в 10-летних культурах (биологический возраст 11 лет), когда разница по средней высоте составила 93 см, или 38,1 % (рис. 2, б), а по диаметру 1,3 см, или 43,3 % в пользу интродуцента. К 2002 г. относительная разница по высоте и диаметру существенно уменьшилась (9,4 и 12,0 % соответственно), хотя это несколько больше, чем у саженцев – 4,9 и 11,9 %.

В культурах, созданных тепличными однолетками, снеговал отмечен не был. По сравнению с вариантами из саженцев, у сосны скрученной было гораздо меньше двойчаток (2,6 %), что лишь в 1,6 раза больше, чем у сосны обыкновенной. Процент деревьев с закрытой вершиной у сосны обыкновенной больше, чем у сосны скрученной (9,2 и 4,3 % соответственно), однако объем ожидаемого отпада примерно одинаков (0,074 и 0,082 м<sup>3</sup>). Качество ствола оказалось лучше у растений из семян, при этом интродуцент очень незначительно уступил аборигенному виду. Бездефектные стволы отмечены у 76 % особей сосны скрученной и у 82 % – сосны обыкновенной. Как и у саженцев, достаточно четко выражена тенденция улучшения качества ствола с увеличением степени толщины. В культурах из семян особенно заметна разница между интродуцентом и аборигенным видом по репродуктивной активности. У сосны обыкновенной шишки отмечены буквально на единичных деревьях, в то время как у сосны скрученной плодоносят более половины растений.

Процент поврежденных лосями деревьев у сосны скрученной оказался выше (слом вершины – 0,6 %, погрыз ствола – 0,9 %), чем у сосны обыкновенной (слом вершины – 0,8 %, погрызов ствола нет). Можно предположить, что лось порой отдает предпочтение стволам экзота с более тонкой корой.

Сосна скрученная по диаметру на высоте груди статистически достоверно превосходила сосну обыкновенную на 0,9 см, однако относительная разница стала меньше, чем 5 лет назад (12,0 против 27,1 %). Коэффициент вариации диаметра у аборигенного вида выше (32,4 %), чем у экзота (28,9 %). Следовательно, сосна скрученная дает более однородную «продукцию». У нее меньше сильно отставших в росте растений, и ряд распределения деревьев по ступеням толщины менее растянут. Разница по средней высоте между видами составила 9,4, по объему среднего дерева – 30,7 %.

Таким образом, исключая участок, заложенный саженцами, на оставшейся площади опыта в настоящее время имеем смешанное насаждение состава 4,9С скр.5,1С об. (по числу стволов) и 5,6С скр. 4,4С об. (по запасу). Густота – 968 шт./га, относительная полнота – 0,3. Текущий годичный прирост за последнее пятилетие – 3,36 м<sup>3</sup>/га. В перерасчете на 1 га текущий прирост сосны обыкновенной составил 3,04 м<sup>3</sup>, а интродуцента – 3,68 м<sup>3</sup> (+21,0 %).

Еще в 1997 г. были отмечены высокое качество ствола, отсутствие снеговала и хороший рост культур из семян. Высказывалось предположение, что со временем сеянцы догонят саженцы по биометрическим показателям. Пока этого не произошло (табл. 5).

В 1997 г. сеянцы сосны обыкновенной уступали саженцам по высоте на 98 см (28,7 %), по объему ствола на 0,0033 м<sup>3</sup> (66 %); сосны скрученной – соответственно на 102 см (23,2 %) и 0,0052 м<sup>3</sup> (56,5 %). Как видим из табл. 5, разрыв заметно сократился. Сеянцы интродукента практически достигли размеров саженцев аборигенной сосны, но разница пока еще есть.

Применительно к искусственному лесовосстановлению в таежной зоне преодоление «фактора времени» подразумевает формирование различными методами и способами хвойных молодняков, обладающих форсированным ростом. Описанные в данной работе испытательные культуры сосны созданы в относительно благоприятных почвенно-климатических условиях южной части средней подзоны тайги, что способствует их росту по I классу бонитета. Интенсивный рост культур достигнут без применения удобрений и гербицидов, но исключительно за счет традиционных лесокультурных приемов, а именно: удачного выбора лесокультурной площади, стандартной обработки почвы дисковым орудием, проведения своевременных уходов механическим способом и использования качественного посадочного материала. Создание смешанных культур снижает риск полной гибели древостоя при использовании интродукентов. Можно предположить, что такие культуры могли бы послужить прообразом лесосырьевых

Таблица 5

**Биометрические характеристики растений  
в зависимости от вида посадочного материала**

Вид посадочного материала	Сосна обыкновенная				Сосна скрученная			
	$D_{1,3м}$ , см	$H$ , м	$V_{\text{сред.дер.}}$ , м <sup>3</sup>	Текущий прирост, м <sup>3</sup> /га	$D_{1,3м}$ , см	$H$ , м	$V_{\text{сред.дер.}}$ , м <sup>3</sup>	Текущий прирост, м <sup>3</sup> /га
Саженцы	8,4	6,1	0,0244	5,12	9,4	6,4	0,02915	5,13
Сеянцы	7,5	5,3	0,0175	3,04	8,4	5,8	0,02287	3,68
Различие, %	-10,7	-13,1	-28,3	-40,6	-10,6	-9,4	-21,5	-28,3

плантаций в средней подзоне тайги в целях получения как балансовой, так и крупной пиловочной древесины. Поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать данный опыт не просто как набор вариантов для испытания, а как формирующийся искусственный фитоценоз, не имеющий аналога в природе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов И.И. Интродукция ценных хвойных экзотов / И.И. Дроздов, Ю.И. Дроздов // Лесохоз. информ. – 2002. – № 10. – С. 30–53.

2. Изюмский П.П. Таксация тонкомерного леса / П.П. Изюмский. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – 87 с.
3. Прогнозные таблицы хода роста плантационных культур. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1988. – С. 37.
4. Раевский Б.В. Рост и продуктивность испытательных культур сосны скрученной в южной Карелии / Б.В. Раевский, А.А. Мордась // Лесн. журн. – 2000. – № 5-6. – С. 74–81. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Elfing B. Biomass structure of 8-year-old Scots pine and lodgepole pine saplings / B. Elfing. – Umea: Swed. Univer. of Agricult. Sciences, Stensil, 1993. – 2 p.
6. Elfing B. Volume yield superiority of lodgepole pine compared to Scots pine in Sweden / B. Elfing, O. Norgren // *Pinus contorta* from untamed forest to domesticated crop. – Umea, 1992. – P. 69–80.
7. Ericsson T. Lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) breeding in Sweden / T. Ericsson. – Umea: Swed. Univer. of Agricult. Sciences, 1994. – 325 p.
8. Segebaden G. Lodgepole pine in Sweden: A situation Report / G. Segebaden // *Pinus contorta* from untamed forest to domesticated crop. – Umea, 1992. – P. 8–23.
9. Walter C. Transformed *Pinus radiata* now growing in greenhouses at the New Zeland Forest Research Institute (NZFRI) / C. Walter, D. Smith // *Dendrome*. – 1995. – Vol. 2. – P. 1–7.

Институт леса  
Карельского НЦ РАН

Поступила 17.05.03

*B. V. Raevsky, A. A. Mordas*

### **Growth Progress of Lodgepole Pine Plantation in the Middle Taiga Subzone**

Growth and development indices of lodgepole and Scots pine provenances have been studied in the Southern Karelia by the method of laying the pilot areas. It is shown that within 15-year period the introduced lodgepole pine has been keeping its superiority in height over indigenous species, but over the last five years the difference between two species has been considerably reduced.

---

УДК 630\*425:630\*443

*О.В. Адмаев, Т.В. Гавриленко*

Адмаев Олег Васильевич родился в 1964 г., окончил в 1986 г. Красноярский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Красноярской государственной архитектурно-строительной академии. Имеет 19 печатных работ в области охраны окружающей среды.



Гавриленко Татьяна Валентиновна родилась в 1961 г. окончила в 1984 г. Новосибирский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Красноярской государственной архитектурно-строительной академии. Имеет 22 печатные работы в области устойчивости и надежности технических сооружений.



### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНКОРДАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Для получения вероятностных характеристик устойчивости экологических систем использован метод экспертных оценок. Методика применялась при исследованиях влияния выбросов металлургического комбината в г. Мончегорске.

*Ключевые слова:* метод экспертных оценок, устойчивость экологических систем, цепи Маркова, загрязнение окружающей среды.

В научной литературе можно найти достаточно большое количество публикаций, в которых авторы приводят фактические данные о состоянии различных экологических систем, полученные в результате натурных наблюдений. Обычно такая информация представлена в виде многочисленных таблиц с большим набором числовых данных или графиков. Выводы большей частью имеют узкую направленность, ограничены первоначально поставленными задачами. Часто в подобных выводах приводятся лишь качественные характеристики исследуемых объектов.

Результаты натурных исследований могут быть использованы для решения более широкого круга задач, например при получении вероятностных оценок степени повреждения экологических систем. В частности, такие оценки актуальны при определении устойчивости системы вблизи автомобильной дороги или производственного предприятия. Модель устойчивости может быть построена, например, на основе теории случайных процессов – цепей Маркова [1].

Одним из способов получения вероятностных характеристик устойчивости экологической системы является метод экспертных оценок, который позволяет перейти от субъективного восприятия отдельными специали-

стами исследуемых объектов и явлений к их количественному описанию. Данное описание обобщается по группе специалистов, в результате субъективная составляющая нивелируется.

Метод экспертных оценок обычно включает анкетный опрос специалистов отрасли, которые должны оценить ряд предложенных факторов по степени значимости (проранжировать). Наиболее значимому с точки зрения каждого эксперта фактору присваивается ранг 1, следующему – 2 и т. д. Если несколько объектов имеют равную степень предпочтительности, им присваивается одинаковый ранг, равный среднему арифметическому из порядковых номеров объектов одной и той же значимости. Высший ранг фактора определяется на основе средневзвешенных оценок.

Степень согласованности мнений экспертов по совокупности всех факторов можно оценить по коэффициенту конкордации, который определяется по формуле [3]

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^m S_i^2 - \bar{S}^2}{N^2 (m^3 - m) - N \sum_{j=1}^N T_j}$$

Здесь  $S_i$  – сумма рангов, присвоенных  $i$ -му фактору всеми экспертами;

$m$  – число оцениваемых факторов;

$N$  – общее число экспертов.

Параметры  $S_i, \bar{S}, T_j$  вычисляются по формулам

$$S_i = \sum_{j=1}^N R_{ij}; \quad \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m}; \quad T_j = \sum_{l=1}^{L_j} (t_{jl}^3 - t_{jl})$$

Здесь  $R_{ij}$  – ранг, присвоенный  $i$ -му фактору  $j$ -м экспертом;

$L_j$  – число групп одинаковых рангов в ранжированном ряду, представленных  $j$ -м экспертом;

$l$  – порядковый номер группы с совпавшими (равными) рангами;

$t_{jl}$  – число равных рангов по  $j$ -му эксперту в группе  $l$ .

Достоверность совпадения мнений экспертов оценивается по критерию  $\chi^2$ . Рассчитываемый по формуле  $\chi^2 = W(m-1)N$  параметр сравнивается с табличным значением, которое выбирается для уровня значимости  $\gamma$  и числа степеней свободы  $m-1$  [1].

Коэффициент конкордации находится в пределах от 0 до 1. При значении, равном 0,8, степень согласованности мнений экспертов считается хорошей. Другим критерием учета разброса мнений экспертов является коэффициент вариации, который не должен превышать 0,3.

По присвоенным экспертами каждому фактору рангам определяется коэффициент весомости

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^N (m - R_{ij})}{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m (m - R_{ij})}.$$

При этом должно выполняться условие  $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$ .

С помощью данной методики можно получить вероятностные характеристики загрязнения по региону, проявляющегося через болезни растений. Применимость коэффициента конкордации нами рассмотрена на базе результатов исследований поражения сосны побеговым раком в российско-финляндской Лапландии, приведенных в работе [2]. Ее авторы ссылаются на источники, в которых приводятся последствия деятельности крупного медно-никелевого комбината в этом районе. Она привела к масштабному загрязнению среды SO<sub>2</sub>, Ni, Cu и повреждению лесов на значительных площадях.

В статье [2] приведены количественные характеристики по городам и степени повреждения, в частности процент деревьев, поврежденных побеговым раком в различной степени (табл. 1). Исследования проводились в 15 пунктах северной Финляндии и на Кольском полуострове. Сделан вывод, что промышленные эмиссии на Кольском полуострове вряд ли имеют отношение к заболеваниям деревьев в восточной части финляндской Лапландии.

Таблица 1

Пункт	Число деревьев, поврежденных побеговым раком в различной степени, %											Итого
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Мончегорск	402	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402
Имандра	136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136
Пиренга	728	64	10	2	0	0	0	0	0	0	0	804
Уполокша	446	58	7	0	0	0	0	0	0	0	0	511
Ена	348	29	7	0	0	0	0	0	0	0	0	384
Ковдор	649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	649
Аниярви	59	51	22	11	0	0	0	1	0	0	0	144
Локка	424	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	443
Сатси	92	88	28	22	11	4	1	7	1	0	14	268
Аска	250	26	4	0	0	0	0	0	0	0	0	280
Нуттио	119	55	35	24	5	1	2	2	2	0	3	248
Муонио	177	83	4	0	1	0	0	0	0	0	0	265
Кемиярви	447	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	459
Теннила	475	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	476
Кеминмаа	276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	276

Таблица 2

Пункт	Вероятность повреждений деревьев побеговым раком в различной степени, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Мончегорск	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Имандра	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Пиренга	0,91	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Уполокша	0,87	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ена	0,91	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ковдор	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Аниярви	0,41	0,35	0,15	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Локка	0,96	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сатси	0,34	0,33	0,10	0,08	0,04	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05
Аска	0,89	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Нуттио	0,48	0,22	0,14	0,10	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Муонио	0,67	0,31	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Кемиярви	0,97	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Теннила	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Кеминмаа	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

На основе приведенных статистических данных можно получить вероятности заболевания деревьев побеговым раком. Мы вычислили вероятности повреждения сосен в различной степени в пунктах обследования как отношение числа поврежденных деревьев к общему числу обследованных деревьев (табл. 2).

Если вредные выбросы на Кольском полуострове не оказывают существенного влияния на заболевания в регионе, то степень согласованности данных по всем исследованным пунктам, находящимся на различных расстояниях от источника загрязнения, должна быть очень высокой.

Рассматривались пункты, находящиеся на различном расстоянии от источника загрязнения ( $N = 15$ ), в качестве факторов – степень повреждения % ( $m = 11$ ). Вероятности того, что дерево здорово, присваивали ранг 1; вероятности того, что оно заражено на 10 % – ранг 2, и т. д. Группе равнозначных факторов (нет деревьев больных со степенью 30, 40 % и т. д.) присваивали среднее арифметическое порядковых рангов. Фактору ранг присваивали по средневзвешенной оценке, определяемой как среднее арифметическое рангов в каждом пункте по каждому фактору.

Результаты расчетов по изложенной методике приведены в табл. 3.

Коэффициент конкордации составил  $W = 0,76$ , что свидетельствует о вполне удовлетворительной согласованности данных.

Достоверность совпадения мнений  $\chi^2 = 0,76 \cdot (11 - 1) \cdot 15 = 114$ . При уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы  $(m - 1) = 9$  табличное значение критерия составляет 16,92 [1]. Так как вычисленное значение намного больше табличного, то с вероятностью 0,95 можно считать, что совпадение данных не является случайным. Коэффициент вариации превысил предельно допустимые только для двух факторов: вероятности поражения

Таблица 3

№	Степень повреждения, %	Ранг	Средневзвешенная оценка	Коэффициент вариации	Коэффициент весомости
1	0	1	1,000	0,00	0,182
2	10	2	3,200	0,57	0,142
3	20	3	4,200	0,46	0,124
4	30	4	6,300	0,23	0,085
5	40	5	6,800	0,21	0,076
6	50	10	7,533	0,16	0,063
7	60	8,5	7,500	0,08	0,064
8	70	7	7,100	0,08	0,071
9	80	8,5	7,500	0,08	0,064
10	90	11	7,800	0,20	0,058
11	100	6	7,067	0,10	0,072

на 10 и 20 %. Среднее значение коэффициента вариации по всем факторам составляет 0,2. Таким образом, данный метод подтверждает гипотезу об отсутствии явной связи между выбросами медно-никелевого комбината и распространением заболевания побеговым раком сосны в российско-финляндской Лапландии, так как для всего региона степень согласованности результатов высокая.

Полученные вероятностные оценки могут быть использованы для оценки устойчивости экологической системы в данном регионе.

Надо иметь в виду, что в этом способе оценки согласованности результатов присутствует как субъективная, так и объективная составляющие. Первая основывается на методике определения степени экологических воздействий на природную среду, вторая обусловлена выбором и характеристиками исследуемой местности.

Таким образом, с помощью предложенной нами методики могут быть вычислены вероятностные характеристики, необходимые для оценки устойчивости экологической системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Высш. шк., 2002. – 575 с.
2. *Кайтера Ю.А.* Распространение побегового рака по градиенту загрязнения среды в Российской и Финской Лапландии / Ю.А. Кайтера, А.Л. Федорков, Р.Е. Ялканен // Лесн. журн. – 1996. – № 3. – С. 26–31. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Сиденко В.М.* Управление качеством в дорожном строительстве / В.М. Сиденко, С.Ю. Рокас. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с.

Красноярская государственная  
архитектурно-строительная академия  
Поступила 05.01.04

*O.V. Admaev, T.V. Gavrilenko*

#### Use of Concordance Method for Evaluating Changes of Ecological Systems Quality

The method of expert appraisals has been used for obtaining probabilistic characteristic of ecological systems stability. The technique has been applied when studying the influence of metallurgical plant emissions in the town of Monchegorsk.



УДК. 629.114.2.001.24

*В.П. Антипин, Е.Н. Власов, Г.В. Каршев, К.С. Щеголев***ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ТРАНСМИССИИ  
НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ТРАКТОРА ЛХТ-100**

Получены аналитические выражения, устанавливающие взаимосвязь конструктивных параметров трактора и динамических характеристик двигателя, их влияние на энергозатраты на неустановившихся режимах.

*Ключевые слова:* трактор, расход, топливо, двигатель, трансмиссия, неустановившийся режим, касательная сила тяги, мощность, сопротивление движению.

При проектировании лесопромышленных и лесохозяйственных тракторов количество передач и их передаточные числа подбирают исходя из заданных значений скорости движения  $v$  трактора и касательной силы тяги  $P_k$ . При этом не корректируют передаточные числа трансмиссии  $i_t$  в зависимости от величины энергозатрат – мощности  $N_e$ , часового  $B$  и удельного  $g_e$  расходов топлива с учетом неустановившихся нагрузочного и скоростного режимов работы трактора. Это объясняется рядом причин:

- отсутствием отработанных методик расчета, учитывающих конструктивные параметры трактора, возможные неустановившиеся нагрузочные и скоростные режимы, характеристики макро- и микрорельефа местности;
- отсутствием ГОСТа на динамические характеристики двигателей внутреннего сгорания.

Известны следующие выражения:

часового расхода топлива двигателем [4]:

$$B = 3,6 g_{ц} i_{д} \omega / (\pi \tau_{д}); \quad (1)$$

цикловой подачи топлива:

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

индикаторной мощности двигателя:

$$N_i = M_i \omega = \omega (M_e + M_{м.п.}) \quad (3)$$

и эффективного крутящего момента, развиваемого двигателем:

$$M_e = P_k R_s / (i_t \eta_t \eta_{дж}), \quad (4)$$

где  $i_d$ ,  $\tau_d$  – количество цилиндров и тактность двигателя соответственно;  
 $\omega$  – угловая частота вращения коленчатого вала;  
 $\eta_i$  – индикаторный к.п.д. двигателя;  
 $H_u$  – низшая теплотворная способность топлива;  
 $R_3$  – радиус ведущей звездочки (колеса) трактора;  
 $\eta_T$  – к.п.д. трансмиссии;  
 $\eta_{дж}$  – к.п.д. движителя;  
 $M_{м.п}$  – момент механических потерь в парах трения двигателя,

$$M_{м.п} = V_h i_d (0,8 + 0,17 r n) / \tau_d,$$

где  $V_h$  – рабочий объем одного цилиндра двигателя;  
 $r$  – радиус кривошипа коленчатого вала;  
 $n$  – частота вращения коленчатого вала.

Рассмотрим работу трактора с плугом. С учетом формулы акад. В.П. Горячкина [1] и динамической составляющей нагрузки от угловых колебаний корпуса трактора  $Q_T(t)$  выражение касательной силы тяги можно записать так:

$$P_K = g[(m_T + m_{пл}) \sin \alpha + f_{Т.к} m_T \cos \alpha] + (m_T + m_{пл}) \frac{dv}{dt} + m_{пл} g f_{Т.с} + k_{п} ab + \xi abv^2 + f_{Т.к} Q(t), \quad (5)$$

где  $m_T$  – масса трактора;  
 $m_{пл}$  – масса плуга;  
 $\alpha$  – угол подъема поверхности движения трактора;  
 $f_{Т.к}$  – коэффициент сопротивления качению трактора;  
 $f_{Т.с}$  – коэффициент, учитывающий трение поверхности плуга о дно и стенку борозды;  
 $k_{п}$  – удельное сопротивление почвы;  
 $a$  – глубина обработки почвы;  
 $b$  – ширина захвата плуга;  
 $\xi$  – коэффициент динамичности, зависящий от формы отвала и свойств почвы;  
 $g$  – ускорение свободного падения.

Выразим скорость движения трактора через частоту вращения  $n$  коленчатого вала двигателя и передаточное число трансмиссии  $i_T$ :  $v = \pi R_3 n / (30 i_T)$ . Решая совместно уравнения (1)–(5), находим:

$B$  – часовой расход топлива при работе трактора на пахоте:

$$B = \frac{3,6\pi}{30\eta_i H_u} \left\{ \frac{R_3 n}{i_T \eta_T \eta_{дж}} [(m_T + m_{пл}) g \sin \alpha + f_{Т.к} m_T \cos \alpha + m_{пл} g f_{Т.с} + k_{п} ab + \left( \frac{\pi R_3}{30 i_T \eta_T \eta_{дж}} \right)^2 \xi abn^2 + (m_T + m_{пл}) \frac{dn}{dt}] + \left[ \frac{V_h i_d}{\tau_d} (0,8 + 0,17 r n) + f_{Т.к} Q(t) \right] n \right\}; \quad (6)$$

$N_i$  – затраты мощности:

$$N_i = \frac{\pi R_3 n}{30 i_T \eta_T \eta_{ДЖ}} [(m_T + m_{шл}) g \sin \alpha + f_{Т.К} m_T g \cos \alpha + m_{шл} g f_{Т.С} + k_{п} ab + \left( \frac{\pi R_3}{30 i_T \eta_T \eta_{ДЖ}} \right)^2 \xi ab n^2 + (m_T + m_{шл}) \frac{dn}{dt}] + \left[ \frac{V_h i_{дл}}{\tau_{д}} (0,8 + 0,17 m) + f_{Т.К} Q(t) \right] n. \quad (7)$$

В целях исследования влияния неустановившихся режимов на энергозатраты запишем уравнения (5)–(7) в приращениях во времени  $t$  и, используя преобразования Лапласа, представим в операторном виде. Исходя из понятия передаточной функции [3], разделив левую и правую части выражений на преобразованную по Лапласу переменную составляющую нагрузки  $z_H(s)$  на ведущей звездочке трактора, получим следующие выражения:

$W_{P_k}(s)$  – касательной силы тяги:

$$W_{P_k}(s) = \frac{P_k(s)}{z_H(s)} = \frac{g}{s} [(m_T + m_{шл}) \sin \alpha + f_{Т.К} m_T \cos \alpha + f_{Т.К} Q(s) + \frac{1}{s} (m_{шл} g f_{Т.С} + k_{п} ab) + 2 \left( \frac{\pi R_3}{30 i_T} \right)^2 \xi ab n_0 U(s) + \frac{\pi}{30} i_T R_3 (m_T + m_{шл}) s U(s)]; \quad (8)$$

$W_B(s)$  – часового расхода топлива:

$$W_B(s) = \frac{B(s)}{z_H(s)} = \frac{3,6\pi}{30 \eta_i H_u} \left\{ \frac{R_3}{i_T \eta_T \eta_{ДЖ}} [(m_T + m_{шл}) g \sin \alpha + f_{Т.К} m_T g \cos \alpha + m_{шл} g f_{Т.С} + k_{п} ab + 3 \left( \frac{\pi R_3}{30 i_T \eta_T \eta_{ДЖ}} \right)^2 \xi ab n_0^2 + (m_T + m_{шл}) (\Phi + n_0 s)] U(s) + \left[ \frac{V_h i_{дл}}{\tau_{д}} (0,8 + 0,34 m_0) + f_{Т.К} Q(s) \right] U(s) \right\}; \quad (9)$$

$W_{N_i}(s)$  – затрат мощности:

$$W_{N_i}(s) = \frac{\pi R_3}{30 i_T \eta_T \eta_{ДЖ}} [(m_T + m_{шл}) g \sin \alpha + f_{Т.К} m_T g \cos \alpha + m_{шл} g f_{Т.С} + k_{п} ab + 3 \left( \frac{\pi R_3}{30 i_T \eta_T \eta_{ДЖ}} \right)^2 \xi ab n_0^2 + (m_T + m_{шл}) (\Phi + n_0 s)] U(s) + [f_{Т.К} Q(s) + \frac{\pi V_h i_{дл}}{30 \tau_{д}} (0,8 + 0,34 m_0)] U(s). \quad (10)$$

Здесь  $U(s) = n(s)/z_H(s)$  – передаточная функция (динамическая характеристика) двигателя;

$s = d/dt$  – оператор дифференцирования;

$\Phi = dn/dt|_{t=0}$  – константа, определяемая теоретически или из экспериментальной переходной характеристики;

$n_0$  – математическое ожидание постоянной составляющей частоты вращения двигателя;

$Q(s)$  – передаточная функция угловых колебаний остова трактора относительно шарнира  $O$  (рис.1).

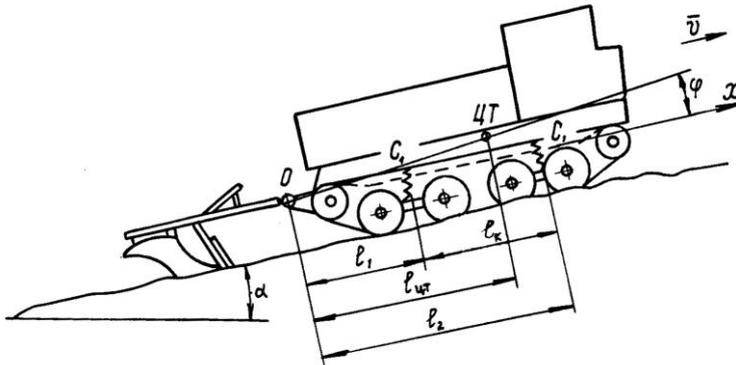


Рис. 1. Схема трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70

Определим динамическую составляющую нагрузки  $Q(t)$  от угловых колебаний корпуса трактора относительно шарнира  $O$ , соединяющего трактор с плугом. Составим выражения для кинетической ( $T$ ) и потенциальной ( $\Pi$ ) энергии, а также диссипации ( $R$ ) системы трактор – плуг:

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{1}{2}(m_T + m_{пл})\dot{x}^2 + \frac{1}{2}I_o\dot{\varphi}^2; \\ \Pi &= \frac{1}{2}c(l_1\varphi - z_{н1})^2 + \frac{1}{2}c(l_2\varphi - z_{н2})^2; \\ R &= \frac{1}{2}\beta(l_1^2 + l_2^2)\dot{\varphi}^2. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Введя выражения  $T$ ,  $\Pi$ ,  $R$  в уравнение Лагранжа по обобщенным координатам  $x$  и  $\varphi$ , получим следующие дифференциальные уравнения:

$$\left. \begin{aligned} (m_T + m_{пл})\ddot{x} &= P_k - P_c; \\ I_o\ddot{\varphi} + \beta(l_1^2 + l_2^2)\dot{\varphi} + c(l_1^2 + l_2^2)\varphi &= c(l_1 + l_2)z_0k_0e^{-j\omega t}, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где  $P_c$  – суммарные силы сопротивления;

$I_o$  – момент инерции трактора относительно шарнира  $O$ ,

$I_o = I_c + ml_{\text{цт}}^2$  ( $I_c$  – момент инерции трактора относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести);

$c_1$  – жесткость одной пружины,  $c = 4c_1$ ;

$\beta$  – коэффициент демпфирования,  $\beta = v\sqrt{cm}$  ( $m$  – подрессоренная масса трактора);

$k_o$  – коэффициент осности,  $k_o = \cos(2\pi l_k/l_n) \leq 1$ ,  $l_k$  – расстояние между каретками;  $l_n$  – расстояние между неровностями;

$z_o$  – высота неровности микрорельефа;

$z_{н1}$ ,  $z_{н2}$  – высота неровности под первой и второй каретками соответственно;

$l_1$ ,  $l_2$  – расстояние от шарнира  $O$  соответственно до задней и передней оси трактора;

$\varphi$  – угол колебаний трактора.

Введя  $s = d/dt$ , запишем (12) в операторном виде:

$$\varphi(s) = z_o k_o c (l_1 + l_2) [I_o s^2 + \beta s (l_1^2 + l_2^2) + c (l_1^2 + l_2^2)]^{-1}. \quad (13)$$

Заменяя  $s = j\omega$ , запишем амплитудно-фазовую частотную характеристику угловых ускорений трактора  $\varepsilon(j\omega)$ :

$$\varepsilon(j\omega) = z_o k_o c (l_1 + l_2) [c (l_1^2 + l_2^2) - I_o \omega^2 + j\omega \beta (l_1^2 + l_2^2)]. \quad (14)$$

Критерием динамической нагруженности от угловых колебаний трактора относительно шарнира  $O$  является главный момент сил инерции:

$$M_{\text{гл}}(\omega) = \frac{I_o z_o k_o c (l_1 + l_2)}{\sqrt{[c (l_1^2 + l_2^2) - I_o \omega^2]^2 + \omega^2 \beta^2 (l_1^2 + l_2^2)^2}}. \quad (15)$$

При этом динамическая составляющая нагрузки от угловых колебаний корпуса трактора  $Q(\omega)$  определяется как отношение  $M_{\text{гл}}(\omega)/l_{\text{цт}}$ , где  $l_{\text{цт}}$  – расстояние от шарнира  $O$  до центра тяжести трактора.

Выражение резонансной частоты угловых колебаний остова трактора имеет вид

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{c (l_1^2 + l_2^2) / I_o}. \quad (16)$$

Сопротивление движению трактора с плугом представляет собой стационарный случайный процесс [5], поэтому в соответствии с теоремой Винера – Хинчина [2] и понятием математического ожидания спектральной плотности случайного процесса для исследуемых параметров можно записать:

$M_{P_k}(\omega)$  – математическое ожидание спектральной плотности касательной силы тяги:

$$M_{P_k}(\omega) = \left[ \frac{1}{\pi} \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} |W_{P_k}(j\omega)|^2 S_H(\omega) P_H(\omega) d\omega \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (17)$$

$M_B(\omega)$  – математическое ожидание спектральной плотности часового расхода топлива:

$$M_B(\omega) = \left[ \frac{1}{\pi} \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} |W_B(j\omega)|^2 S_H(\omega) P_H(\omega) d\omega \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (18)$$

$M_{N_i}(\omega)$  – математическое ожидание спектральной плотности затрат мощности:

$$M_{N_i}(\omega) = \left[ \frac{1}{\pi} \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} |W_{N_i}(j\omega)|^2 S_H(\omega) P_H(\omega) d\omega \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (19)$$

где  $S_H(\omega)$  – спектральная плотность нагрузки;

$P_H(\omega)$  – плотность вероятности появления гармоник случайного процесса с частотой  $\omega$ ;

$$j = \sqrt{-1}.$$

В соответствии с формулами (6), (7), (18), (19) определим полные значения:

$B_{\Pi}$  – часового расхода топлива:

$$B_{\Pi} = B_o + M_B(\omega); \quad (20)$$

$N_{\text{ип}}$  – затрат мощности:

$$N_{\text{ип}} = N_{\text{io}} + M_{N_i}(\omega), \quad (21)$$

где

$$B_o = \frac{3,6\pi n_o}{30\eta_i H_u} \left\{ \frac{R_3}{i_T \eta_T \eta_{\text{дж}}} [(m_T + m_{\text{пл}})g \sin \alpha + f_{\text{т.к}} m_T g \cos \alpha + m_{\text{пл}} g f_{\text{т.с}} + k_{\text{п}} ab + \left( \frac{\pi R_3}{30i_T \eta_T \eta_{\text{дж}}} \right)^2 \xi_5 ab n_o^2] + \frac{V_h i_d}{\tau_d} (0,8 + 0,17 m_o) n_o \right\}; \quad (22)$$

$$N_{\text{io}} = \frac{\pi R_3 n_o}{30i_T \eta_T \eta_{\text{дж}}} [(m_T + m_{\text{пл}})g \sin \alpha + f_{\text{т.к}} m_T g \cos \alpha + m_{\text{пл}} g f_{\text{т.с}} + k_{\text{п}} ab + \left( \frac{\pi R_3}{30i_T \eta_T \eta_{\text{дж}}} \right)^2 \xi_5 ab n_o^2] + \frac{V_h i_d}{\tau_d} (0,8 + 0,17 m_o) n_o. \quad (23)$$

Для примера выполним расчет частотных характеристик энергозатрат трактора ЛХТ-100 при нарезании борозд плугом ПКЛ-70. Примем следующие исходные данные:  $\eta_i = 0,41$ ;  $H_u = 41,3 \cdot 10^3$  кДж/кг;  $R_3 = 0,236$  м;  $\eta_T = 0,85$ ;  $\eta_{\text{дж}} = 0,8$ ;  $\Phi = 450$  с<sup>-2</sup>;  $n_o = 1500$  об/мин;  $V_h = 1,575$  л;  $i_d = 4$ ;  $r = 0,160$  м;  $m_T = 9600$  кг;  $m_{\text{пл}} = 600$  кг;  $f_{\text{т.к}} = 0,1$ ;  $f_{\text{т.с}} = 0,45$ ;  $k_{\text{п}} = 7,0 \cdot 10^4$  Н/м<sup>2</sup>;

$a = 0,15$  м;  $b = 0,70$  м;  $\xi = 2000$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $I_c = 23936$  кг·м<sup>2</sup>;  $m = 7750$  кг;  $c = 2,8 \cdot 10^6$  Н/м;  $z_0 = 0,025$  м;  $k_0 = 0,7$ ;  $\beta = 14731$  Н/м;  $l_k = 1,75$  м;  $l_1 = 1,35$  м;  $l_2 = 3,10$  м;  $l_{ц.т} = 2,73$  м.

Используем для расчета характеристик (8)–(10) формулы (15), (16), а также выражение экспериментально полученной передаточной функции  $U(s)$  двигателя СМД-18Н:

$$U(s) = \frac{k(T_2^2 s^2 + 2T_2 \xi_1 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_3^2 s^2 + 2T_3 \xi_2 s + 1)(T_4 s + 1)}. \quad (24)$$

Здесь  $k$  – коэффициент передачи,  $k = 1,85$ ;  
 $\xi_1, \xi_2$  – коэффициенты затухания,  $\xi_1 = 0,30$ ;  $\xi_2 = 0,25$ ;  
 $T_1, T_2, T_3, T_4$  – постоянные времени трактора,  $T_2 = 0,531$  с;  
 $T_3 = 0,398$  с;  $T_4 = 0,354$  с;

$$T_1 = (\pi/30)[I_d + (m_t + m_{ш})R_3^2/i_t^2]n_n^2/N_n,$$

где  $I_d$  – приведенный момент инерции двигателя,  $I_d = 2,04$  кг·м<sup>2</sup>;

$n_n$  – номинальная частота вращения коленчатого вала,  $n_n = 1800$  об/мин;

$N_n$  – номинальная мощность двигателя,  $N_n = 75$  кВт.

Допустим, что трактор работает на III передаче, передаточное число трансмиссии  $i_t = 34,84$ . Тогда постоянная времени трактора  $T_1 = 11,34$  с. Соответственно, с учетом выражения (24) получим частотные характеристики при работе трактора на III передаче (рис. 2).

На рис. 3 приведены графики часового расхода топлива, затрат мощности и математического ожидания спектральной плотности касательной силы тяги  $M_{P_k}(\omega)$  в зависимости от передаточного числа трансмиссии.

В таблице представлены значения удельных расходов топлива по передачам: в статике  $g_{eo} = B_0/N_{i0}$ ; в динамике  $g_e(\omega) = M_B(\omega)/M_{Ni}(\omega)$ ; их процентное соотношение  $g_e(\omega)/g_{eo} \cdot 100$ .

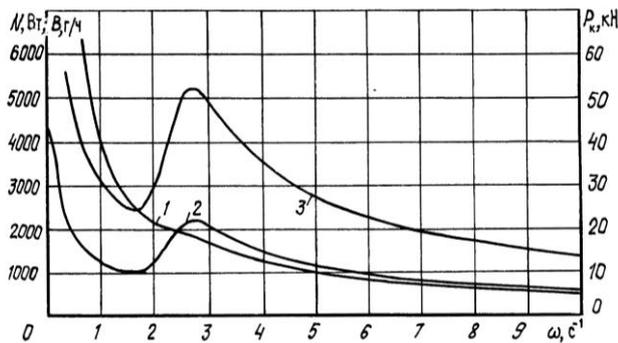
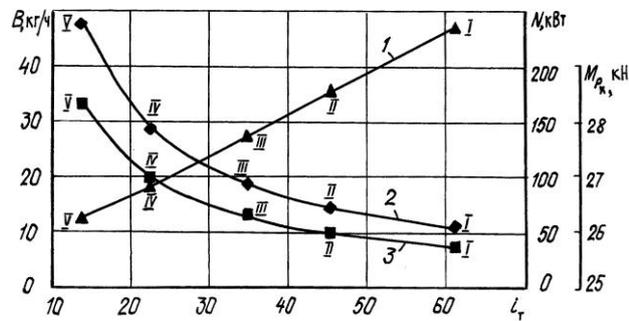


Рис. 2. Частотные характеристики энергосъема трактора ЛХТ-100 при работе с плугом ПКЛ-70 на III передаче: 1 –  $P_k(\omega)$ ; 2 –  $B(\omega)$ ; 3 –  $N(\omega)$ ;

Рис. 3. Графики энергонагруженности по передачам:  
 I – V – номера передач;  
 1 –  $M_{P_k}(i_T)$ ; 2 –  $B_{II}(i_T)$ ;  
 3 –  $N_{in}(i_T)$



№ передачи	Передаточное число $i_T$	$g_{eo}$ , кг/(кВт·ч)	$g_e(\omega)$ , кг/(кВт·ч)	$\frac{g_e(\omega)}{g_{eo}} \cdot 100, \%$
I	61,19	0,281	0,403	143,4
II	45,46	0,281	0,408	145,2
III	34,84	0,281	0,416	148,0
IV	22,52	0,281	0,415	147,6
V	13,81	0,281	0,417	148,4

Очевидно, пересечение кривых  $M_{P_k}(i_T)$ ,  $B(i_T)$ ,  $N_{in}(i_T)$  на рис. 3 указывает на диапазон передаточных чисел трансмиссии с оптимальным расходом топлива и затратами мощности при незначительной динамической нагруженности в силовой передаче на пахоте.

#### Выводы

1. Построенная математическая модель устанавливает взаимосвязь конструктивных параметров трактора и динамических характеристик двигателя, их влияние на энергозатраты.
2. Динамические характеристики двигателя являются основными факторами, определяющими энергозатраты трактора при работе в неустановившемся режиме.
3. При выборе передаточного ряда трансмиссии необходима коррекция передаточных чисел в соответствии с часовым расходом топлива и затратами мощности.
4. Снижение динамической нагруженности позволит расширить диапазон оптимальных передаточных чисел трансмиссии, при котором уменьшатся затраты мощности, часового и удельного расходов топлива в динамике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Албяков М.П. Справочник механизатора лесного хозяйства / М.П. Албяков [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 296 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Высш. шк., 2000. – 575 с.

3. Деруссо П. Пространство состояний в теории управления / П. Деруссо [и др.]. – М.: Наука, 1970. – 620 с.

4. Крутов В.И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект / В.И. Крутов. – М.: Машиностроение, 1978. – 472 с.

5. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье. – Л.: Колос, 1970. – 376 с.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия  
Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 26.08.03

*V.P. Antipin, E.N. Vlasov, G.V. Karshev, K.S. Shchegolev*  
**Influence of Transmission Gear-ratio on Power Inputs  
of Tractor LHT-100**

The analytical formulae have been received setting the interrelation of tractor constructive parameters and engine dynamic behavior, their influence on energy inputs under unsteady modes of operation.

---

УДК 630\*383

*Е.Г. Гладков*

Гладков Евгений Георгиевич родился в 1944 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры сухопутного транспорта леса С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет около 40 печатных работ в области экономико-математического моделирования объектов и процессов лесного комплекса.



### **МОДЕЛЬ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Предложена экономико-математическая модель и пример расчета динамики основной производственной деятельности лесозаготовительного предприятия на плановый период.

*Ключевые слова:* лесотранспортная сеть, территориальная динамика, экономико-математическая модель.

Под территориальной динамикой лесозаготовительного предприятия понимают последовательность освоения элементов лесного фонда в совокупности со строительством, реконструкцией и эксплуатацией элементов лесотранспортной сети. Это объективное отражение основной производственной деятельности ЛЗП в конкретной экономической и лесохозяйственной обстановке. На условия лесозаготовок существенно влияют параметры в начале планового периода: раздробленность лесосырьевой базы, наличие свободных средств, договоров на поставку продукции, плотность существующей транспортной сети и пр. В силу специфических ограничений на взаимодействие природной и технологической компоненты лесозаготовительного производства территориальная динамика является самостоятельным объектом подлежащим моделированию и оптимизации. Комплексность и многоплановость взаимодействия экономических, природно-технологических и иных факторов предопределяет наличие системы экономико-математических моделей для обоснования территориальной динамики лесозаготовительного предприятия. Цель данной статьи – описание одной из таких задач.

*Постановка задачи.* Развитие и размещение лесотранспортной сети планируют в интервале, не превосходящем 10-летний период инвентаризации лесного фонда. В этой связи параметры насаждений полагаются константными. Внешнеэкономическую ситуацию в первый год (годы) задают детерминированным портфелем заказов предприятия на лесопroduкцию, распределенным по пунктам потребления, для каждого пункта средневзвешенной по объемам заказов ценой древесины в пределах своей группы качества (породы и товарности). В последующие годы считают известным спрос на древесину каждой группы качества, задаваемый либо функцией

его распределения, либо совокупностью вероятных сценариев развития внешнеэкономической ситуации. Способы обоснования функции спроса и вероятных сценариев развития выходят за рамки данной статьи, относясь к области экономической политики предприятия. Для каждого года планового периода полагают известным коэффициент дисконтирования, задаваемый как внешний параметр. Внутренние условия производства определяются удельными затратами и доходом от заготовки  $1 \text{ м}^3$  древесины по лесосекам, нарезанным во фрагментарном лесном массиве; по элементам сети – отдельным дорогам – суммарными удельными на  $1 \text{ м}^3$  вывезенной древесины затратами от транспортировки леса и содержания, ремонтов и строительства элемента сети; по нижнему складу – удельными затратами или доходом от переработки  $1 \text{ м}^3$  древесины заданной группы качества.

Для каждой лесосеки считают известной породно-товарную структуру запаса. Величинами транспортных связей задают размещение погрузочного пункта (пункта-источника), через который лес поступает в транспортную сеть. Внутрилесосечные транспортно-технологические связи, включая первичные грузосборочные пути, в задаче не рассматривают. Транзитные потоки посторонних грузов задают по элементам сети своими значениями, строительные условия – величиной строительной компоненты суммарных удельных затрат.

Сеть может иметь произвольное количество пунктов, включая пункты-источники, транзитные пункты, разделяющие строительные разности или выполняющие функцию слияния – разделения потоков, пункты потребления, интегрирующие спрос отдельных юридических лиц (потребителей) в древесине различного качества.

Лесоводственно-лесохозяйственные ограничения задают избыточным по отношению к портфелю заказов списком лесосек, возможных к рубке в течение года, для которых предполагают выполненными правила приемыкания. Каждая лесосека, согласно правилам рубок, должна вырубаться полностью, причем сопутствующая древесина, вырубаемая на лесосеке вне требований портфеля заказов, также транспортируется на нижний склад предприятия. Целевой лес с лесосеки может быть вывезен непосредственно в один или несколько пунктов потребления, включая нижний склад. Эти обстоятельства учитывают на уровне подготовки исходных данных задачи и технологии ее применения. Прибыль или убыток от переработки целевой и сопутствующей древесины на нижнем складе полагают заданными. Оптимальный план задачи, определяющий распределение грузопотоков по существующим и строящимся дорогам, а значит, задающий местоположение и объемы строительства новых дорог, а также объемы вырубемых запасов леса заданного качества в наиболее эффективных лесосеках, определяют на избыточной транспортной сети и при избыточном лесном фонде по критерию максимума прибыли, получаемой от продажи леса и продукции нижнего склада. Избыточную транспортную сеть задают списком пунктов потребления, избыточным списком пунктов-источников, транзитных пунктов и транспортных связей, для каждой из которых известны суммарные удель-

ные затраты на ее строительство, содержание и вывозку леса, приходящиеся на  $1 \text{ м}^3$  древесины, перемещаемой по связи.

*Математическое описание задачи.* Обозначим:

$\Pi$  – список древесных пород, возможных к заготовке в лесосырьевой базе предприятия ;

$p \in \Pi$  – номер древесной породы из списка  $\Pi$  ( $p = 1, 2, \dots$ );

$W$  – список товарностей древесины;

$w$  – номер товарности,  $w = 1, 2, \dots$

Перенумеруем в произвольном порядке возможные пары сочетаний пород и товарностей, присвоив каждой паре номер  $\rho$ . Составим новый список  $P$  групп качества древесины. Пусть далее:

$t$  – номер года планового периода,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$\gamma$  – коэффициент дисконтирования;

$I$  – список номеров узлов избыточной транспортной сети, выполненный в произвольном порядке. Каждый пункт  $i \in I$  характеризуется наличием и спросом (в том числе ненулевым) на древесину некоторой породы и товарности,  $\rho \in P$ ;

$I_1 \in I$  – список лесосек и транзитных пунктов сети;

$I_2 \in I$  – список точек стока сети;

$I_3 \in I_2$  – список нижних складов;

$L$  – список существующих и возможных к строительству транспортных связей;

$L_1 \in L$  – список существующих транспортных связей;

$L_2 \in L$  – список возможных транспортных связей;

(списки  $L_1$  и  $L_2$  используют на этапе подготовки исходных данных для назначения удельных затрат  $a_l$  на элементе сети);

$L_3 \in L$  – список транспортных связей, по которым ограничиваются размеры грузопотока;

$X_{\rho l}^t$  – грузопоток древесины  $\rho$ -й породы и товарности ( $\rho \in P$ ), перемещаемой по  $l$ -й ( $l \in L$ ) транспортной связи в  $t$ -м году планового периода;

$a_l^t$  – затраты на  $1 \text{ м}^3$  грузопотока по  $l$ -й связи, приходящиеся на ее строительство, плюс затраты на  $1 \text{ м}^3$  грузопотока, приходящиеся на транспортировку древесины по всей длине связи, ее содержание и ремонт в  $t$ -й год планового периода. Для уже построенных дорог  $a_l$  не включает затраты на строительство связи;

$\|M_{il}\|_{\rho}^t$  – матрица инцидентий графа связей транспортной сети ( $i \in I, l \in L, \rho \in P$ ) для  $t$ -го года планового периода;

$r_{i\rho}^t$  – условный доход от продажи  $1 \text{ м}^3$  древесины  $\rho$ -й породы и товарности, заготовленной в  $i$ -й ( $i \in I$ ) лесосеке, определяе-

мый как разность между средневзвешенной в пределах  $\rho$ -й группы качества портфеля заказов ценой  $1 \text{ м}^3$  древесины и затратами на лесосечные работы, приходящимися на  $1 \text{ м}^3$  обезличенной древесины, заготовленной в  $i$ -й лесосеке в  $t$ -й год планового периода;

$Q_{i\rho}$  – запас леса  $\rho$ -й породы и товарности ( $\rho \in P$ ), возможный к заготовке в  $i$ -й ( $i \in I_1$ ) лесосеке;

$V_{i\rho}^t$  – объем заготовки древесины  $\rho$ -й породы и товарности в  $i$ -й лесосеке ( $i \in I$ ) в  $t$ -й год планового периода;

$D_{i\rho}^t$  – объем заказа древесины  $\rho$ -й породы и товарности в  $i$ -м пункте сети ( $i \in I$ ,  $\rho \in P$ ) в  $t$ -й год планового периода;

$X_{lt}^{\max}$ ,  $X_{lt}^{\min}$  – соответственно верхний и нижний пределы грузопотока по  $l$ -му элементу сети в  $t$ -й год планового периода.

Тогда имеем

$$\max_{(V, X)} \left\{ \sum_{t=1}^T \gamma^t \left( \sum_{i \in I} \sum_{\rho \in P} r_{i\rho}^t V_{i\rho}^t - \sum_{l \in L} \alpha_l^t \sum_{\rho \in P} X_{l\rho}^t \right) \right\}; \quad (1)$$

$$\|M_{i \in I, l \in L}\|_{\rho}^t \cdot \|X_{l \in L}\|_{\rho}^t - V_{i \in I}\|_{\rho}^t = \|0_i\|_{\rho}^t, \forall \rho \in P, t \in T, i \in I; \quad (2)$$

$$V_{i \in I_2, \rho}^t = D_{i \in I_2, \rho}^t, \forall \rho \in P, t \in T; \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^T V_{i \in I_1, \rho}^t \leq Q_{i \in I_1, \rho}, \forall \rho \in P, i \in I; \quad (4)$$

$$X_{lt}^{\min} \leq \sum_{\rho \in P} X_{l\rho}^t \leq X_{lt}^{\max}, t \in T, l \in L_3; \quad (5)$$

$$V_{i\rho}^t \geq 0, t \in T, i \in I, \forall \rho \in P; \quad (6)$$

$$X_{l\rho}^t \geq 0, t \in T, i \in I, \forall \rho \in P. \quad (7)$$

Функционал (1) задачи требует для выбираемых лесосек максимума дисконтированной прибыли за плановый период от продажи вырубленной древесины. Ее рассчитывают как разность между доходом от продажи леса и затратами на лесосечные работы и транспортировку до потребителя, включая при необходимости затраты на строительство новых дорог к экономически эффективным лесосекам.

Ограничение (2) обеспечивает неразрывность и автоматическое сложение грузопотоков в узлах сети; (3) характеризует условия спроса в пунктах стока сети по годам планирования; (4) показывает, что вывозимый запас из лесосеки за плановый период не может быть выше наличествующего запаса; (5) – допустимые пределы грузопотоков по дорогам, определенным списком  $L_3$ ; (6), (7) – неотрицательность вырубленных запасов и потоков для всех лет планирования.

Исходная задача в части развития и размещения лесотранспортной сети относится к особому типу задач математического программирования,

для которых пока не существует общей теории и универсальных эффективных методов [1]. Нелинейная зависимость  $a_i^t$  от грузопотоков прошлых и будущих лет (наличие индекса  $t$ ) представляет значительные трудности для автоматического и строгого в математическом плане решения.

Обозначим далее:

$b_{lk}^t, c_{lk}^t, d_{lk}^t$  – соответственно удельные затраты на 1 м<sup>3</sup> грузопотока от строительства, собственно транспортировки леса и содержания  $l$ -й связи  $k$ -й категории в  $t$ -й год планирования;

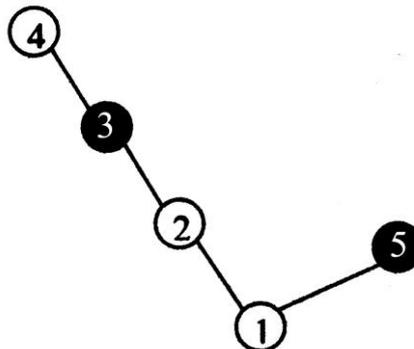
$\hat{x}_{lk}^t$  – нормативный диапазон грузопотока для  $l$ -й связи  $k$ -й категории.

Тогда

$$a_i^t(x_i^t) = \begin{cases} 0, & \text{если } \sum_{t=1}^t x_i^t = 0 \quad (\text{связи нет}); \\ c_{lk}^t + d_{lk}^t, & \text{если } x_i^t \in \hat{x}_{lk}^t \text{ и } \sum_{t=1}^{t-1} x_i^t > 0 \quad (\text{связь уже построена и используется}); \\ b_{lk}^t + c_{lk}^t, & \text{если } x_i^{t+1} \in \hat{x}_{lk}^t \text{ и } \sum_{t=1}^t x_i^t = 0 \quad (\text{связь в текущем году строится и эксплуатируется}). \end{cases}$$

Поскольку в рамках используемого подхода затраты на строительство элемента сети можно описать, только связав их с величиной соответствующего грузопотока, их показывают в первый год эксплуатации элемента. Целочисленные категории дорог определяют в результате выполнения итерационной процедуры [2].

Подходы к решению нелинейной задачи сейчас изыскиваются. Опыт эксплуатации задачи линейного программирования показал, что отказ от индекса  $t$  в коэффициенте  $a_i^t$  может привести к лучшему решению для некоторых вариантов распределения потоков на сети. Подобный вариант виден из рисунка. Если одна из лесосек 3 или 5, согласно портфелю заказов, может быть вырублена в начале планового периода, а в последующие годы необходимо рубить лесосеки 2 и 4, то, очевидно, сначала следует рубить лесосеку 3, строить связи 1 – 2, 2 – 3 и затем 3 – 4. Лесосеку 5 не следует включать в план рубок, так как древесину можно взять из лесосеки 3, связи к которой все равно придется строить по причине последующей рубки лесосек 2 и 4. Однако в линейной постановке будет реализован вариант с рубкой лесосеки 5 как наиболее эффектив-



ный для своего года.

Обычно это случается на сетях большой размерности. Оператор, обслуживающий автоматизированную систему, где эксплуатируется задача, может достаточно быстро обнаружить патологию и получить правильное решение. Процедура проста: лесосека 5 принудительно исключается из рассмотрения, и задача решается заново. Если при этом значение функционала улучшилось, значит решение верно. Для автоматизации процесса решения разработан пакет прикладных программ «ПОЛЬЗА» (программы оптимизации лесозаготовок), позволяющий готовить данные прямым вводом или решением сопутствующих задач и решать в линейном варианте произвольного размера с последующим анализом [1].

#### *Выводы*

1. Изложенная задача может быть применена как один из основных элементов системы обоснования территориальной динамики лесозаготовительного предприятия.

2. С методической точки зрения, изложенную задачу можно рассматривать как многоцелевой инструмент, предназначенный для среднесрочного планирования развития территориальной динамики ЛЗП; обоснования: выбора содержимого портфеля заказов предприятия на плановый период при наличии уже выделенного лесного фонда; динамики размещения и строительства лесотранспортной сети по годам планирования; плана корпоративного развития предприятия с учетом возможных прибылей и затрат; целесообразности инвестирования и реальности погашения кредитов; предельных цен на лесосеки на торгах; территориального размещения отдельных элементов и лесотранспортной сети в целом в рамках предпроектных работ.

4\*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гладков Е.Г.* Автоматизированная система планирования основного производства ЛЗП / Е.Г. Гладков. – СПб.: РЕСТЭК, 2002. Четвертый Междунар. лесопромышленный форум «Лесопромышленный комплекс России XXI века»: тез. докл. – С. 190.

2. *Гладков Е.Г.* Территориальная динамика лесозаготовительных предприятий. Экономико-математические модели планирования лесозаготовок / Е.Г. Гладков. – Сыктывкар: СЛИ, 2002. – 101с.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 08.04.04

*E.G. Gladkov*

#### **Model of Territorial Dynamics of Forest-harvesting Company**

Economic-mathematical model and dynamics calculation example of the main production activity of the forest-harvesting enterprise for the planned period are suggested.



УДК 630\*306

***Н.К. Климусhev***

Климусhev Николай Константинович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Ухтинский индустриальный институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и машин лесозаготовок Ухтинского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных работ по вопросам оптимизации лесозаготовительного производства.



### **СЕЗОННАЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА\***

Дан анализ динамики объемов производства лесозаготовительных предприятий Республики Коми. Получены количественные оценки сезонной неравномерности за 1998 – 2000 гг.

*Ключевые слова:* сезонность, неравномерность, лесозаготовительное производство, модель, динамика объемов.

Лесозаготовительному производству присуща явно выраженная сезонная периодичность работ. Осенне-зимний и весенне-летний периоды резко различаются по условиям осуществления лесозаготовительного производства. Зима создает благоприятные условия для заготовки и транспортировки древесины по снегу и льду, а лето дает возможность сплавлять лес.

Сезонными принято называть периодические колебания, возникающие в зависимости от времени года. Сезонные колебания строго цикличны – повторяются через каждый год, хотя сама длительность и характер смены времен года имеют колебания.

Характер сезонной неравномерности лесозаготовительного производства в условиях работы в рыночной экономике имеет важное значение при организации лесозаготовок. Он является показателем взаимодействия природно-климатических условий лесозаготовок с организационно-техническими возможностями предприятия в условиях переменного спроса на лесоматериалы.

Проанализируем структуру временных рядов, характеризующих объемы лесозаготовительного производства, методом скользящей средней и построением аддитивной или мультипликативной модели ряда. Аддитивная модель имеет общий вид

$$Y = T + S + E.$$

Эта модель предполагает, что каждый уровень временного ряда может быть представлен как сумма трендовой ( $T$ ), сезонной ( $S$ ) и стохастической ( $E$ ) компонент. Мультипликативная модель имеет общий вид

---

\* В порядке обсуждения.

$$Y = TSE.$$

Эта модель предполагает, что каждый уровень временного ряда может быть представлен как произведение трендовой ( $T$ ), сезонной ( $S$ ) и случайной ( $E$ ) компонент.

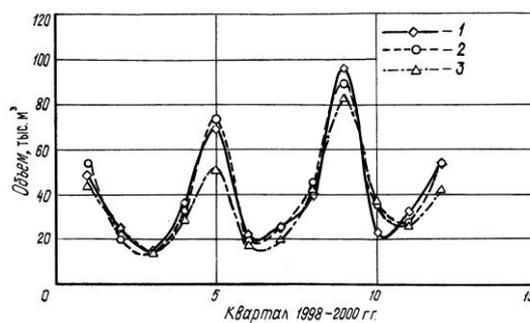
Выбор одной из двух моделей осуществляется на основе анализа структуры сезонных колебаний. Если амплитуда колебаний приблизительно постоянна, строят аддитивную модель временного ряда, в которой значения сезонной компоненты предполагаются постоянными для различных циклов. Если амплитуда сезонных колебаний возрастает или уменьшается, строят мультипликативную модель временного ряда, которая ставит уровни ряда в зависимость от значений сезонной компоненты.

Построение аддитивной и мультипликативной моделей сводится к расчету значений  $T$ ,  $S$  и  $E$  для каждого уровня ряда.

Для оценки параметров сезонной неравномерности выполним расчет квартальных уровней сезонности для ряда лесозаготовительных предприятий Республики Коми за 1998 – 2000 гг. Уровень сезонности представляет собой долю квартального объема производства от годового.

Для выбора типа модели, наиболее подходящей для поставленной задачи, оценим графически динамику изменения объемов производства на примере ООО «Палаузский ЛКБ» (см. рисунок).

Представленный график отчетливо показывает все возрастающую амплитуду изменения объемов производства в ООО «Палаузский ЛКБ» за 1998 – 2000 гг. Характерной особенностью данного этапа экономического развития исследованных предприятий лесного комплекса Республики Коми является наличие явно выраженного тренда, обусловленного существенным ростом объемов производства. Следовательно, в данном случае предпочтительна мультипликативная модель.



Объем производства за 1998–2000 гг.: 1 – заготовка; 2 – вывозка; 3 – деловая древесина

Следовательно, в данном случае предпочтительна мультипликативная модель.

Выполним расчет уровня сезонной неравномерности для ряда постоянно работающих лесозаготовительных предприятий Республики Коми за 1998 – 2000 гг. (см. таблицу).

Предприятие	Вид работ	Квартал			
		1	2	3	4
ООО «Койгородский ЛКБ»	Заготовка	0,3929	0,1620	0,1573	0,2878
	Вывозка	0,4633	0,1290	0,1429	0,2648
	Производство деловой древесины	0,3875	0,2117	0,1899	0,2109
ООО "Палаузский	Заготовка	0,4986	0,1315	0,1344	0,2355

ЛКБ"	Вывозка	0,4811	0,1504	0,1289	0,2396
	Производство деловой древесины	0,4498	0,1711	0,1294	0,2496
ООО "Сысольский ЛКБ"	Заготовка	0,3723	0,1765	0,1864	0,2648
	Вывозка	0,3967	0,1661	0,1757	0,2615
ООО "Локчимлеспром"	Производство деловой древесины	0,3571	0,1956	0,1841	0,2631
	Заготовка	0,3853	0,1622	0,1624	0,2901
	Вывозка	0,3877	0,1828	0,1777	0,2517
	Производство деловой древесины	0,3501	0,1957	0,2042	0,2501

Полученные результаты свидетельствуют о высоком уровне сезонной неравномерности лесозаготовительного производства, что следует учитывать в условиях перехода к рыночной экономике.

Ухтинский государственный  
технический университет  
Поступила 02.09.03

*N.K. Klimushev*

### **Seasonal Irregularity of Forest-harvesting Production**

The analysis of production volume dynamics for forest-harvesting enterprises of the Komi Republic is provided and the quantitative assessments of seasonal irregularity are obtained for the period of 1998-2000.



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.093

**С.П. Исаев**

Исаев Сергей Петрович родился в 1960 г., окончил в 1982 г. Хабаровский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообработки Хабаровского государственного технического университета. Имеет около 50 печатных работ в области рационального и комплексного использования древесины на основе оптимального раскря и процессов склеивания.



### ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИГОДНОСТИ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ\*

Приведены расчетные формулы и порядок их применения при оценке технологической пригодности круглых лесоматериалов перед обработкой.

*Ключевые слова:* круглый лесоматериал; кривизна сортимента, пиломатериалы полной длины, лущеный шпон, объем продукции.

При переработке круглых лесоматериалов необходимо оценить возможность получения из них лесопродукции заданного объема и качества. Косвенным показателем такой оценки может служить максимальный цилиндрический объем древесины, получаемый из бревна.

В работе [2] нами предложен один из возможных критериев такой оценки – коэффициент формы сортимента  $K_\phi$ , который определяют отношением объема цилиндра полной длины, вписанного в сортимент, к фактическому объему данного сортимента. Основные параметры бревна, характеризующие его типоразмер без учета качества внутренней структуры древесины: диаметр комлевого торца; диаметр вершинного торца; длина; наибольший прогиб бревна – возможно прогнозирование на этапе раскря [3].

Таким образом, имеем два варианта размерных характеристик круглого лесоматериала: расчетные данные на этапе раскря хлыста; фактический обмер сортимента (после раскря).

Наша задача определить направление переработки круглого лесоматериала с учетом коэффициента его формы.

Пусть  $d_0$  – диаметр комлевого торца бревна;  $d_L$  – диаметр вершинного

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Российской Федерации (грант Т02 – 11.4 – 2151).

торца бревна;  $L$  – длина бревна;  $\ell$  – наибольший прогиб бревна (стрела прогиба);  $x_1$  – расстояние от комлевого торца бревна до сечения, в котором достигается наибольший прогиб.

Выясним, при каких соотношениях между параметрами  $d_0, d_L, L, \ell, x_1$ , решение задачи о центрах базирования: 1) не существует, т.е. диаметр вписанного цилиндра настолько мал, что отсутствует возможность выработки продукции из его объема; 2) существует, но не единственное; 3) существует и единственное. В случае, когда решение существует, найдем диаметр наибольшего вписанного цилиндра  $d_{\text{цк}}$  и смещение центров базирования относительно его геометрического центра  $(\Delta, \delta)$ . В основу этого положим выражения при аналитическом решении задачи определения центров базирования круглых лесоматериалов перед обработкой.

Предположим, что при обмере бревна получены значения  $d_0, d_L, L, \ell, x_1$ . Построим вспомогательные функции  $d(x)$  и  $\bar{y}(x)$ .

Простейшая линейная функция  $d(x)$ , принимающая при  $x=0$  и  $x=L$  заданные значения, имеет вид

$$d(x) = A_0 + A_1 x. \quad (1)$$

Учитывая, что  $d(0) = d_0, d(L) = d_L$ , получаем систему уравнений для определения коэффициентов  $A_0, A_1$ :

$$\begin{cases} A_0 + A_1 \cdot 0 = d_0; \\ A_0 + A_1 L = d_L. \end{cases} \quad (2)$$

Решая систему (2), находим

$$A_0 = d_0; \quad (3)$$

$$A_1 = \frac{d_L - d_0}{L}. \quad (4)$$

Для построения функции  $\bar{y}(x)$  имеем четыре условия:  $\bar{y}(0) = 0, \bar{y}(x_1) = \ell, \bar{y}(L) = 0, \bar{y}'(x_1) = 0$ . Простейшая удовлетворяющая этим условиям функция – многочлен третьей степени:

$$\bar{y}(x) = B_0 + B_1 x + B_2 x^2 + B_3 x^3. \quad (5)$$

Учитывая начальные условия на функцию  $\bar{y}(x)$  (5), получаем систему уравнений

$$\begin{cases} B_0 + B_1 \cdot 0 + B_2 \cdot 0^2 + B_3 \cdot 0^3 = 0, \\ B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_1^2 + B_3 x_1^3 = \ell, \\ B_0 + B_1 L + B_2 L^2 + B_3 L^3 = 0, \\ B_1 + 2B_2 x_1 + 3 \cdot B_3 x_1^2 = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Решая систему (6), получаем

$$B_0 = 0; \quad (7)$$

$$B_1 = \ell \frac{L(2L - 3x_1)}{x_1(L - x_1)^2}; \quad (8)$$

$$B_2 = -\ell \frac{L^2 - 3x_1^2}{x_1^2(L - x_1)^2}; \quad (9)$$

$$B_3 = -\ell \frac{2x_1 - L}{x_1^2(L - x_1)^2}. \quad (10)$$

Отсюда получим

$$\frac{d_0 - d_L}{L} > \frac{\ell L(3x_1 - L)}{x_1^2(L - x_1)}. \quad (11)$$

В этом случае

$$d_{\text{цк}} = d_L; \quad (12)$$

$$\delta = 0; \quad (13)$$

$$\frac{\ell L^2(3x_1 - L)}{x_1^2(L - x_1)} - \frac{d_0 - d_1}{2} \leq \Delta \leq \frac{d_0 - d_1}{2}. \quad (14)$$

Решение (14) является единственным, если

$$\frac{d_0 - d_L}{L} \leq \frac{\ell L(3x_1 - L)}{x_1^2(L - x_1)}; \quad (15)$$

Тогда

$$d_{\text{цк}} = \frac{d_0}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_0}{L}\right) + \frac{d_L}{2} \cdot \frac{x_0}{L} - \left(\bar{y}(x_0) - \frac{d(x_0)}{2}\right); \quad (16)$$

$$\delta = \frac{d_L}{2} - \frac{d_{\text{цк}}}{2}, \quad (17)$$

$$\Delta = \frac{d_0}{2} - \frac{d_{\text{цк}}}{2}, \quad (18)$$

где  $x_0$  – решение уравнения

$$B_1 + 2B_2x_0 + 3B_3x_0^2 + \frac{d_0 - d_L}{L} = 0, \quad (19)$$

удовлетворяющее условию  $x_1 \leq x_0 \leq L$ .

Особенно просто решение выглядит, если

$$x_1 = \frac{L}{2}, \quad (20)$$

тогда условие единственности решения (14) можно представить в следующем виде:

$$\frac{d_0 - d_L}{\ell} \leq 4\ell. \quad (21)$$

Так как из (10) следует, что  $B_0 = 0$ , то

$$x_0 = \frac{L}{2} + \frac{(d_0 - d_L)L}{8\ell}. \quad (22)$$

Далее определяем

$$d_{\text{цк}} = \frac{d_0 + d_L}{2} - \ell - \frac{(d_0 - d_L)^2}{16\ell}; \quad (23)$$

$$\delta = \frac{\ell}{2} - \frac{d_0 - d_L}{4} + \frac{(d_0 - d_L)^2}{32\ell}; \quad (24)$$

$$\Delta = \frac{\ell}{2} + \frac{d_0 - d_L}{4} + \frac{(d_0 - d_L)^2}{32\ell}. \quad (25)$$

Таким образом, решение задачи об определении направления переработки круглого лесоматериала с учетом коэффициента его формы позволяет констатировать следующее.

1. Если диаметр  $d_{\text{цк}}$ , определенный по формулам (12) и (16), настолько мал, что отсутствует возможность выработки продукции из вписанного цилиндра максимального объема, то можно сказать, что решения задачи в данном случае не существует. Возможны варианты переработки такого сортимента либо на несколько коротких, либо получение из него щепы.

2. Решение существует, и оно не единственно при выполнении условия (1). В данном случае диаметр  $d_{\text{цк}}$  равен вершинному диаметру бревна, центр базирования вершинного торца совпадает с геометрическим центром, а центр базирования комлевого торца может быть расположен в промежутке, определяемом формулой (14).

3. Решение существует и единственно, если имеет место выполнение условия (15). Расчет диаметра  $d_{\text{цк}}$  и ординат точек центров базирования осуществляют по формулам (16)–(18).

В качестве примера рассмотрим лесоматериал (см. рисунок), имеющий следующие характеристики:  $d_0 = 300$  мм;  $d_L = 240$  мм;  $L = 4000$  мм;  $\ell = 90$  мм;  $x_1 = 1500$  мм;  $V = 0,2298$  м<sup>3</sup>. Отметим, что кривизна сортимента составляет 2,25 %. Согласно ГОСТ 9463–88 такая кривизна не допустима даже для сортиментов III сорта.

Вариант, изображенный на рисунке *а*, предполагает выработку цилиндрических пиломатериалов полной длины. Используя выше полученные формулы, находим  $d_{\text{цк}} = 190$  мм,  $V_{\text{ц}} = 0,1081$  м<sup>3</sup>,  $K_{\phi} = 0,43$ . Принимая во внимание, что выход пиломатериалов из цилиндрической части бревна составляет 70...75 % [1], определяем выход пиломатериалов из бревна – 34,1 %.

Вариант *б* предполагает выработку шпона длиной 1,95 м (с учетом припуска). Выполнив необходимые расчеты находим, что комлевой чурак обеспечивает получение цилиндра с  $d_{\text{цк1}} = 250$  мм,  $V_{\text{ц1}} = 0,0966$  м<sup>3</sup>, а вершинный чурак –  $d_{\text{цк2}} = 230$  мм,  $V_{\text{ц2}} = 0,0783$  м<sup>3</sup>,  $K_{\phi} = 0,76$ . Приняв диаметр карандаша после лущения равным 80 мм, определим расчетное количество сырого шпона, полученное при переработке обоих чураков – 0,1553 м<sup>3</sup>, что составляет 67,5 % от объема бревна.

Вариант *в* предполагает раскрой бревна на три чурака и выработку шпона длиной 1,3 м. Результаты расчетов позволили установить, что из комлевого чурака можно получить цилиндр с  $d_{\text{цк1}} = 280$  мм,  $V_{\text{ц1}} = 0,0786$  м<sup>3</sup>,

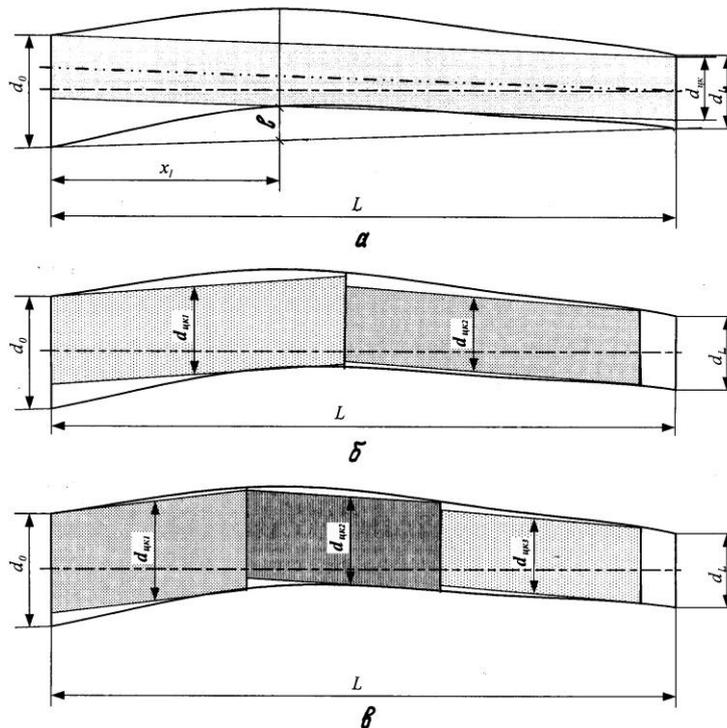


Схема предварительного раскроя сортимента для выработки пиломатериалов (а) и лущеного шпона (б, в)

из срединного –  $d_{\text{цк2}} = 280$  мм,  $V_{\text{цк2}} = 0,0786$  м<sup>3</sup>, а из вершинного чурака –  $d_{\text{цк3}} = 240$  мм,  $V_{\text{цк3}} = 0,0584$  м<sup>3</sup>,  $K_{\text{ф}} = 0,94$ . Суммарный объем сырого шпона, полученный из трех чураков –  $0,1998$  м<sup>3</sup>, что составляет 86,9 % от объема бревна.

Результаты выполненных расчетов позволяют сделать следующие выводы.

1. Перед обработкой бревна необходимо дать ему индивидуальную оценку на технологическую пригодность.
2. Оценка круглого лесоматериала не должна сводиться только к определению сорта и вершинного диаметра.
3. Использование круглого лесоматериала следует оценивать исходя из условий его технико-экономической целесообразности: максимума продукции, максимума прибыли; минимума отходов, минимума трудозатрат и т.д.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов Г.Д. Технология деревообрабатывающих производств / Г.Д. Власов, В.А. Куликов, С.В. Родионов – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 506 с.
2. Исаев С.П. Коэффициент формы сортиментов – один из критериев рационального раскроя хлыстов / С.П. Исаев // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: сб. научн. тр. Брянск. гос. инженерно-технолог. академ. – Брянск, 2002. – Вып. 4. – С. 40 – 44.

---

3. *Исаев С.П.* Определение размерных характеристик сортимента в зависимости от места его вырезки из хлыста / С.П. Исаев // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: сб. научн. тр. Брянск. гос. инженерно-технолог. академ. – Брянск, 2002. – Вып. 4. – С. 44 – 47.

Хабаровский государственный  
технический университет  
Поступила 12.11.03

*S.P. Isaev*

### **Assessment of Technological Adequacy of Round Wood Material**

The design formulas and way of its use are provided for the assessment of the technological adequacy of round wood materials before processing.

---

УДК 621.935

**И.И. Иванкин, Г.Ф. Прокофьев, О.Л. Коваленко**

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



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



Коваленко Олег Леонидович родился в 1973 г., окончил в 1995 г. Архангельский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры транспортных машин АГТУ. Имеет 2 печатные работы в области совершенствования транспортных средств и лесопильного оборудования и инструмента.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ**

По результатам исследований безотказной работы ленточной пилы с использованием имитационного моделирования (компьютерный эксперимент) установлено большое влияние на надежность работы пилы времени между переточками, коэффициента, учитывающего качество обработки поверхности впадин между зубьями и радиальное биение шкивов.

*Ключевые слова:* усталость, прочность, напряжение, надежность, концентрация напряжений, компьютерное моделирование.

Наблюдениями установлено [5], что разрушение ленточных пил в процессе эксплуатации носит усталостный характер. Долговечность пил зависит от многих случайных факторов, значения которых распределены в некотором диапазоне. Традиционная детерминированная методика расчета позволяет учесть влияние только среднего значения испытываемых величин. Результат расчета – значение коэффициента запаса прочности  $n$ :

$$n = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{\sigma_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\text{пред}}$  – предельные напряжения, которые может выдержать пила в процессе эксплуатации, МПа;

$\sigma_{\max}$  – максимальные напряжения, которые испытывает пила в процессе эксплуатации, МПа.

У обычных ленточных пил (не оснащенных пластинками из твердых сплавов) в качестве  $\sigma_{\text{пред}}$  используют предел ограниченной выносливости  $\sigma_{-1N}$ , МПа [5]:

$$\sigma_{-1N} = 1665 - 204 \lg \frac{120000 t v}{L_{\text{п}}}, \quad (2)$$

где  $t$  – продолжительность работы пилы между переточками, мин;  
 $v$  – скорость движения пилы, м/с;  
 $L_{\text{п}}$  – длина пилы.

Максимальные напряжения  $\sigma_{\max}$  определяют по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{k_3}{\beta} \sigma_a + \psi \sigma_m, \quad (3)$$

где  $k_3$  – эквивалентный коэффициент концентрации напряжений при совместном действии изгиба и растяжения;  
 $\sigma_a$  – амплитуда цикла нагружения пилы, МПа;  
 $\beta$  – коэффициент, учитывающий влияние качества обработки поверхности впадин между зубьями;  
 $\psi$  – коэффициент, зависящий от принятого для расчета типа схематизированной диаграммы предельных напряжений и от материала пилы;  
 $\sigma_m$  – среднее напряжение цикла нагружения пилы, МПа.

После подстановки (2) и (3) в выражение (1) получим

$$n = \frac{\sigma_{-1N}}{\frac{k_3}{\beta} \sigma_a + \psi \sigma_m}. \quad (4)$$

Считаем [5], что если  $n \geq 2$ , то пила удовлетворяет условию усталостной прочности. Однако коэффициент запаса прочности сам по себе не является объективным показателем надежности работы изделия, хотя эти два понятия взаимосвязаны. Для оценки надежности больше подходит вероятность безотказной работы, а расчет необходимо производить в вероятностном аспекте с учетом рассеяния входящих в формулы параметров.

Определить вероятность безотказной работы ленточной пилы можно с помощью аналитического расчета, связанного с определением квантили нормального распределения [4, 6], или воспользоваться методикой компьютерного моделирования [3].

Цель данной работы – используя модель, разработанную в системе имитационного моделирования GPSS World фирмы «Minuteman Software», проанализировать влияние некоторых факторов на усталостную прочность ленточных пил.

Для реализации модели необходимо рассмотреть параметры, входящие в формулу (4).

Эквивалентный коэффициент концентрации напряжений при совместном действии изгиба и растяжения определяют по формуле

$$k_3 = \frac{k_{\text{и}} \sigma_{\text{и}} + k_{\text{н}} \sigma_{\text{н}}}{\sigma_{\text{и}} + \sigma_{\text{н}}}, \quad (5)$$

где  $k_{\text{и}}, k_{\text{н}}$  – коэффициенты концентрации напряжений соответственно при изгибе и растяжении;

$\sigma_{\text{и}}, \sigma_{\text{н}}$  – напряжения от изгиба пилы на шкивах и ее натяжения, МПа.

Напряжения от изгиба пилы на шкивах

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{s}{D} E. \quad (6)$$

Здесь  $s$  – толщина пилы, мм;

$E$  – модуль упругости материала пилы, МПа;

$D$  – диаметр шкивов, мм.

Напряжения от натяжения пилы

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{N}{b s}. \quad (7)$$

Здесь  $N$  – сила натяжения пилы, Н;

$b$  – ширина полотна пилы, мм.

Амплитуда цикла нагружения для наружных и внутренних слоев пилы

$$\sigma_{\text{а}} = \frac{\sigma_{\text{и}}}{2} + \Delta \sigma_{\text{н}}, \quad (8)$$

где  $\Delta \sigma_{\text{н}}$  – изменение напряжений, МПа, от натяжения пилы во время ее работы, вызванное радиальным биением ободов шкивов,

$$\Delta \sigma_{\text{н}} = \frac{\Delta L}{L} E. \quad (9)$$

Здесь  $\Delta L$  – удлинение (укорочение) пилы, равное величине радиального биения шкивов, мм;

$L$  – расстояние между осями шкивов, МПа.

Коэффициент  $\psi$  для принятого вида схематизированной диаграммы определяют по формуле

$$\psi = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{\text{в}}}, \quad (10)$$

где  $\sigma_{-1}, \sigma_{\text{в}}$  – пределы выносливости и прочности материала пилы, МПа.

Средние напряжения цикла для наружных (наиболее нагруженных) слоев ленточной пилы

$$\sigma_m = \frac{\sigma_n}{2} + \sigma_n. \quad (11)$$

Для определения средних значений и стандартных отклонений пределов выносливости  $\sigma_{-1}$  и  $\sigma_{-1N}$ , а также коэффициентов концентрации напряжений  $k_n$  и  $k_n$  необходимо проведение специальных экспериментальных исследований.

Расчеты производили при следующих исходных факторах: диаметр шкивов 1250 мм, толщина пилы 1,2 мм, ширина пилы 125 мм, скорость резания 40 м/с, расстояние между осями шкивов 2000 мм; материал пилы – сталь 9ХФ, модуль упругости –  $2,15 \times 10^5$  МПа, предел прочности – 1500 МПа, предел выносливости – 430 МПа; коэффициент концентрации напряжений при изгибе – 1,26, при растяжении – 1,65 [1]. Сила натяжения пилы равна 15 кН, что соответствует напряжениям растяжения 100 МПа. Коэффициенты вариации всех случайных величин ( $N, \Delta L, \beta, \sigma_{-1N}, \sigma_{-1}, \sigma_b, k_n, k_n$ ) приняты равными 0,1, коэффициент запаса для неучтенных факторов – 1,2.

Исследовалась надежность работы ленточной пилы в зависимости от трех факторов: продолжительность работы пилы между переточками ( $t$ ); качество обработки поверхности впадин между зубьями (коэффициента  $\beta$ ), радиальное биение шкивов ( $\Delta L$ ). Результаты приведены в таблице.

**Зависимость вероятности безотказной работы ленточной пилы от исследуемых факторов**

Порядковый номер опыта	$t$ , мин	$\beta$	$\Delta L$ , мм	$P$
1	240	1,0	0,4	1,000
2			0,6	1,000
3			0,8	0,998
4		0,8	0,4	0,999
5			0,6	0,990
6			0,8	0,960
Окончание табл.				
Порядковый номер опыта	$t$ , мин	$\beta$	$\Delta L$ , мм	$P$
7	320	0,6	0,4	0,947
8			0,6	0,798
9			0,8	0,565
10		1,0	0,4	1,000
11			0,6	0,999
12			0,8	0,994
13		0,8	0,4	0,998
14			0,6	0,979
15			0,8	0,916

16		0,6	0,4	0,889
17			0,6	0,678
18			0,8	0,402
19	480	1,0	0,4	1,000
20			0,6	0,999
21			0,8	0,990
22		0,8	0,4	0,994
23			0,6	0,965
24			0,8	0,826
25		0,6	0,4	0,828
26			0,6	0,569
27			0,8	0,293

Из таблицы видно, что при  $\beta = 0,8 \dots 1,0$ , что соответствует подшлифованной (нижний предел) и отполированной (верхний предел) поверхности межзубовой впадины, обеспечивается надежная работа пилы в течение 8 ч. Величина радиального биения шкивов тоже оказывает большое влияние на надежность пилы. При грубой обработке межзубовых впадин ( $\beta = 0,6$ ) и радиальном биении 0,8 мм (на практике бывает и больше [1, 2]) вероятность разрыва пилы велика даже при малой продолжительности работы.

#### Выводы

На надежность работы ленточных пил оказывают влияние их прочность и качество подготовки, величина и характер действующих сил, продолжительность работы, техническое состояние станка. Для увеличения надежности необходимо: улучшать сталь пилы в целях повышения сопротивления усталости и стабилизации механических свойств, обеспечивать высокое качество заточки, правильно оформлять и обрабатывать межзубовые впадины, поддерживать биение шкивов в пределах установленной нормы, не допускать налипания на шкивы смолы и опилок, строго выполнять рекомендации по соотношению толщины пилы и диаметра шкивов, натяжению пилы.

Предложенная методика расчета вероятности безотказной работы средствами имитационного моделирования (методом статистических испытаний или компьютерного эксперимента) позволяет оценить влияние различных факторов, а также их рассеяния на надежность ленточных пил и разработать рекомендации по ее повышению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веселков В.И.* Влияние технического состояния ленточнопильных станков на динамическую систему механизма резания / Веселков В.И. // *Деревообработ. пром-сть.* – 1990. – № 3. – С. 6 – 9.
2. *Веселков В. И.* Теория и конструкции ленточнопильных станков: учеб. пособие / В.И. Веселков. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1992. – 84 с.
3. *Иванкин И.И.* Расчет деталей и узлов с учетом рассеяния значений пара-

метров с использованием системы имитационного моделирования GPSS / И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2003. – № 6. – С. 53 – 57. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Прокофьев Г.Ф. Долговечность пилы ленточнопильного станка с криволинейными аэроэстатическими направляющими / Г.Ф. Прокофьев // Деревообр. пром-сть. – 1991. – № 5. – С. 8-10

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

6. Прокофьев Г.Ф. Определение требуемой прочности пил многопильных ленточнопильных станков / Г.Ф. Прокофьев // Лесн. журн. – 1989. – № 6. – С. 81 – 85. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 21.11.03.

*I.I. Ivankin, G.F. Prokofjev, O.L. Kovalenko*

### **Theoretical Research of Fatigue Resistance of Band Saws**

It is found out based on the research results of fault-free band saw using the simulation (computer experiment) that big influence on the saw work reliability is provided by the time between regrinding and coefficient taking into account the quality of surface treatment of tooth space and radial pulley beat.

---

УДК 624.011.1: 002.237

***Е.Н. Серов, Р.Б. Орлович, М. Ланге***

Серов Евгений Николаевич родился в 1932 г., окончил в 1963 г. Ленинградский инженерно-строительный институт, доктор технических наук, профессор кафедры конструкций из дерева и пластмасс С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет более 100 научных работ в области прочности клееной древесины как анизотропного материала.



Орлович Р.Б. окончил в 1972 г. Брестский инженерно-строительный институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой общего строительства и деревянных конструкций Щецинского политехнического института. Имеет около 200 научных работ в области строительных конструкций.



### **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАРУБЕЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Рассмотрены основные тенденции конструкционного использования древесины в качестве несущих и ограждающих систем в строительстве.

*Ключевые слова:* лесосырьевые ресурсы, пиломатериалы, клееные деревянные конструкции, комплексные конструкции.

В настоящее время древесина уверенно занимает позиции основного материала при строительстве различных зданий и сооружений – от малых архитектурных форм до современных клееных деревянных конструкций (КДК) [3, 4]. Например, в США объем производства КДК с 1948 г. каждые 2 года увеличивался в 2 раза, с 1953 г. по 1955 г. – в 3 раза, а с 1955 г. по 1957 г. – в 5 раз. По данным института строительства ежегодные потери США от пожаров составляют 885 млн долларов, а от коррозии металлов – 5,5 млрд долларов, т. е. в 6,2 раза больше. Одна из причин ренессанса деревянных конструкций заключается в том, что древесина является единственным сырьем, самовозобновляемым на поверхности Земли. Энергозатраты на получение сопоставимой единицы пилопродукции по сравнению с другими традиционными строительными материалами меньше от 4 до 123 раз.

Россия по лесосырьевым ресурсам традиционно занимает в мире первое место. В СССР общий запас древесины составлял 81,8 млрд м<sup>3</sup>, в Российской Федерации по состоянию на 2000 г. – 80,7 млрд м<sup>3</sup> [2]. По данным международного форума [2] в лесобеспеченных странах мира этот показатель колеблется от 1,7 млрд м<sup>3</sup> в Финляндии до 26,9 в Канаде и 23,1 в США. Лесов в России на одного жителя в 10 раз больше, чем в Европе. Однако по уровню и структуре потребления древесных материалов на душу

населения Россия значительно отстает от развитых зарубежных стран (табл.1). Исключением является использование кругляка – главного

**Потребление основных древесных материалов (м<sup>3</sup>/1 тыс. чел.) [9]**

Материал	Россия	Страны Евросоюза
Кругляк	877,2	863,4
Пиломатериалы:		
из хвойных пород	71,2	198,4
из лиственных пород	15,3	36,7
Плиты:		
древесностружечные	16,9	73,3
древесноволокнистые	4,5	24,6
Фанера	3,6	15,2

экспортного продукта отечественной лесной промышленности. Одна из причин этого негативного явления – резкое снижение объемов инвестиций и инноваций в деревообрабатывающую промышленность за период перестройки.

В развитых зарубежных странах не только наращиваются мощности по производству традиционных древесных материалов (пиломатериалы, древесные плиты, фанера, клееная древесина), но и создаются новые древесные композиты. Главным образом это конструкционные материалы (Engineered Wood Products), получаемые на базе новых технологий и в основном используемые в строительстве и мебельной промышленности [8]. Изготавливаемые из них полуфабрикаты (плиты, брусья, балки и др.) обладают повышенной прочностью и жесткостью, а также стабильностью форм и размеров.

Наибольшее распространение получили плиты Microllam, изготавливаемые из однонаправленно ориентированных слоев шпона толщиной до 6 мм (Laminated Veneer Lumber). Максимальные размеры таких плит 1,6×24×0,2 м. Их аналогом являются плиты Parallam из отходов шпона, обрезков досок, узких реек и стружки, склеиваемых под высоким давлением с преимущественной ориентацией волокон в одном направлении (Parallel Strand Lumber). Из таких плит изготавливают всевозможные конструктивные элементы стен и покрытий зданий. Все большее применение в мировой практике получают древесностружечные плиты нового поколения, полученные путем прессования специальной стружки размером до 300×25×1 мм, уложенной в одном либо перекрестных направлениях (Oriented Strand Lumber). Такие плиты широко используют не только в мебельной промышленности, но и в качестве ограждающих конструкций в деревянном домостроении [10].

Наряду с созданием новых древесных композитов совершенствуют технологию и повышают качество традиционных пиломатериалов. Последние по сравнению с композитами менее энергоемки в производстве, более экологичны, а при соответствующей термической и химической обработке – более долговечны в эксплуатации. Немаловажную роль играет их относительно низкая стоимость.

На рис. 1 приведены деревянные плиты составного сечения, изготовленные из набора расположенных параллельно досок или брусьев.

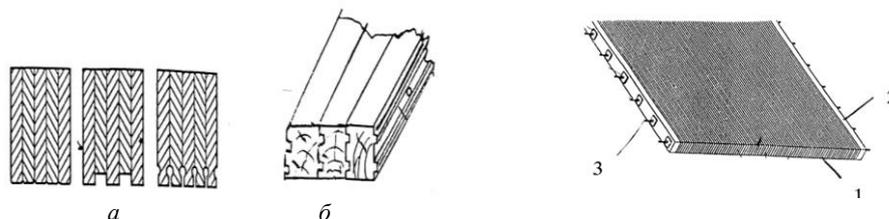
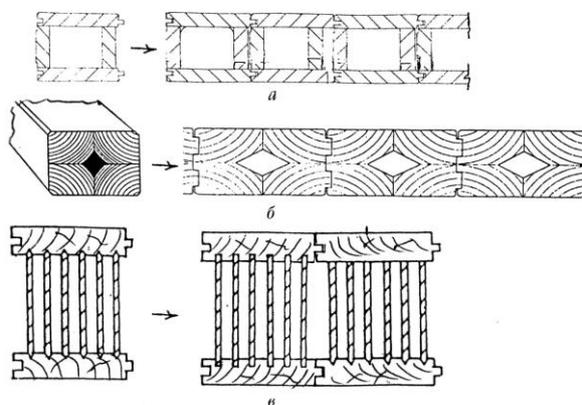


Рис. 1. Плиты составного сечения в виде пакета досок (а) или брусьев (б): 1 – деревоплита; 2 – бортовые элементы; 3 – предварительно напряженные стяжные стержни

5\*

Рис. 2. Составные плиты из клееных блоков, изготавливаемых из досок (а), четвертин досок (б) и древесноволокнистых плит (в)

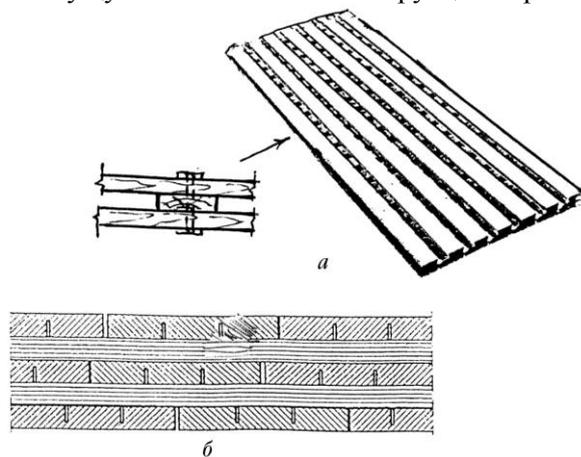


Их соединение по ширине осуществляют с помощью предварительно напрягаемых металлических стержней, помещенных в просверленных канальных отверстиях. Максимальная толщина плит определяется шириной сечения досок или брусьев, а их длина теоретически может быть неограниченной при расположении в разбежку продольных стыков соединяемых элементов. Такие плиты широко используют в мостостроении, а также в качестве стеновых элементов и перекрытий в домостроении [6]. В последнем случае для придания эстетичности потолку кромки досок могут быть профилированы (рис. 1 а). Несмотря на массивность сечений, конструкции обладают достаточно высоким пределом огнестойкости.

Аналогичный принцип положен в основу сборных плит, состоящих из балок коробчатого сечения (рис. 2), которые изготавливают склеиванием досок, четвертин или древесных плит. Пустоты обычно заполняют огнестойким тепло- и звукоизоляционным материалом. По сравнению с рассмотренными выше деревоплитами пустотные плиты обладают повышенной жесткостью при значительно меньшей массе. Они могут быть смонтированы или в собранном виде, или отдельными балочными элементами. В последнем случае отпадает необходимость в применении подъемно-транспортного оборудования.

В последние годы широкое распространение получили дощатые покрытия мембранного и оболочечного типа достаточно больших пролетов и сложной пространственной формы. Конструкция напоминает строение фанеры и состоит из расположенных перпендикулярно либо под углом  $45^\circ$  трех, пяти или семи слоев досок толщиной 20...50 мм. По длине доски стыкуются в плети на клеевой зубчатый шип, а по толщине – с помощью нагелей или клея (рис. 3 *a*, *б*). По ширине в каждом слое доски могут быть уложены вразрядку или с небольшим зазором, что создает благоприятные условия для проветривания. Покрытия из таких конструкций можно изготавливать в виде плоских плит, оболочек одинарной и двойной кривизны. В последнем случае доски работают на растяжение или сжатие вдоль волокон, что предопределяет высокую несущую способность конструкции. Кроме

Рис. 3. Покрытия оболочечного типа из досок, соединенных перекрестно с помощью механических связей (*a*) и клея (*б*)



того, из-за послойно-перекрестного расположения досок конструкция обладает очень высокой сдвиговой жесткостью в плоскости слоёв, а в случае их соединения с помощью клея – большой жесткостью при поперечном изгибе.

Подобный принцип широко используют в клеёнодощатых покрытиях и междуэтажных перекрытиях жилых домов [6]. Создана гамма клеёнодощатых плит, обладающих не только высокими несущей способностью и жесткостью, но также тепло- и звукоизоляционными свойствами (рис. 4).

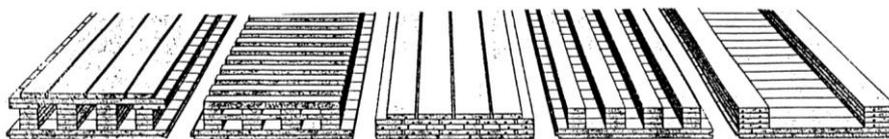


Рис. 4. Виды клеёнодощатых плит покрытий и перекрытий

Процесс изготовления таких конструкций, как правило, полностью автоматизирован и оснащен системным контролем качества от заготовки пиломатериала до складирования готовой продукции. По аналогичной технологии изготавливают стеновые панели, склеиваемые из перекрестно или параллельно расположенных досок (рис. 5, *a*, *б*). Количество слоев в панели колеблется от 3 до 7, благодаря чему достигается стабильность ее

формы. Наличие воздушных пустот повышает термическое сопротивление и акустические свойства панелей. Изготавливают их шириной 125 см на

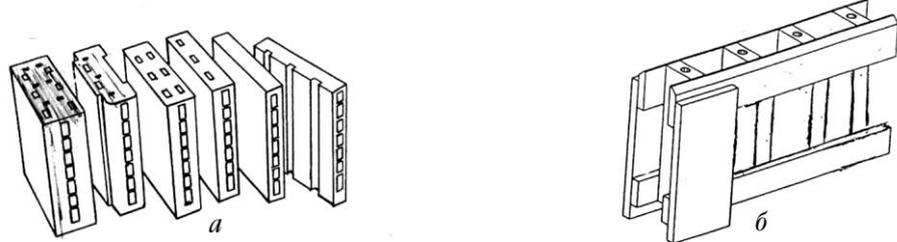


Рис. 5. Клееные дощатые стеновые конструкции: *а* – панели; *б* – блоки

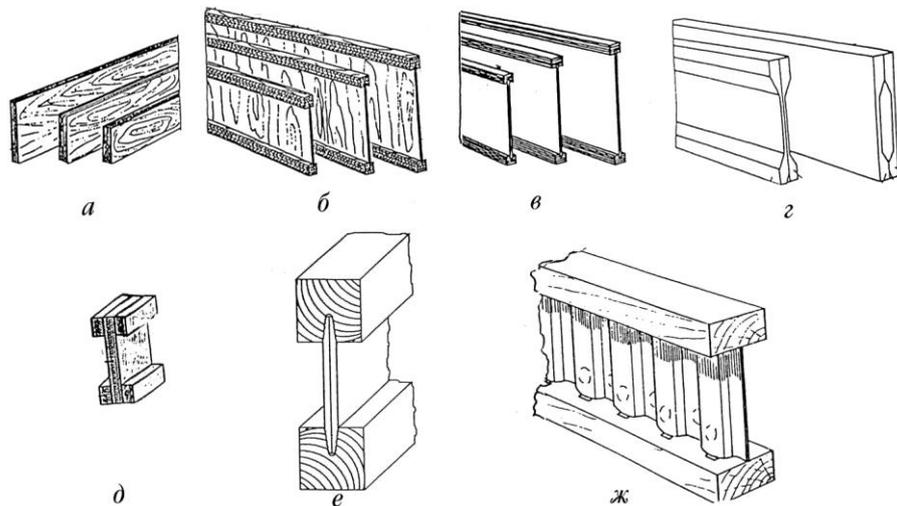


Рис. 6. Балки из древесных композитов: *а* – прямоугольного сечения, склеенные из продольно уложенного шпона (Microllam); *б* – двутавры с поясами из композита Microllam и фанерной стенкой; *в* – двутавры с поясами из композита Parallam и фанерной стенкой; *г* – древесностружечные прессованные балки; *д* – двутавры с поясами и стенкой из плит Microllam; *е* – двутавры со стенкой из твердых древесноволокнистых плит; *ж* – двутавры Nail-Web с впрессованной волокнистой стенкой из жести

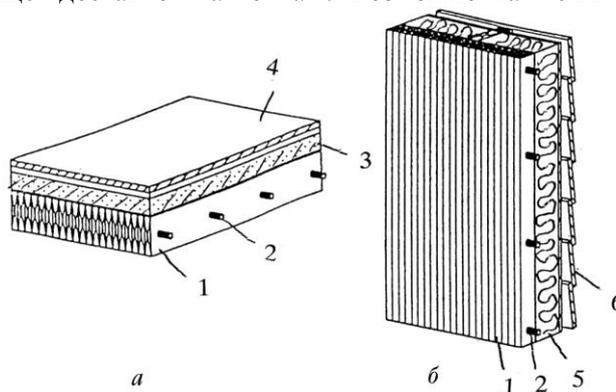
высоту этажа. Практический интерес представляют также пустотные стеновые блоки размером  $64 \times 32 \times 16$  см из обрезков досок, перекрестно соединенных полиуретановым клеем (рис. 5, *в*). Высокая точность изготовления блоков и обработки их кромок обеспечивают плотность монтажных соединений. В западноевропейских странах такие блоки широко применяют при возведении наружных и внутренних стен жилых домов высотой до 4-х этажей.

Интересны строительные профили из древесных материалов, используемые как конструктивные элементы каркасных зданий. В качестве примера на рис. 6 показаны балочные элементы, пояса которых изготовлены

из цельной или ламинированной древесины, а стенки – из фанеры, древесных плит, гофрированной стали. Такие конструкции рационально учитывают механические свойства материалов в соответствии с напряженным состоянием составляющих их элементов.

Наряду с конструкциями из древесных материалов в зарубежной практике все шире применяются комплексные конструкции, например деревобетонные плиты (рис. 7, а). Из опыта их проектирования следует, что включение железобетонной плиты в совместную работу с деревянными балками и плитами может увеличить несущую способность перекрытия в два, а его жесткость – в четыре раза. Кроме того, существенно возрастает огнестойкость конструкции. Изготовление таких плит осуществляется в заводских условиях с последующей доставкой на монтаж. Возможно также вы-

Рис. 7. Комплексные плиты покрытий и перекрытий (а) и стеновые панели (б): 1 – деревоплита из пакета досок; 2 – поперечные предварительно напряженные стержни; 3 – бетон; 4 – пол или покрытие; 5 – термоизоляция; 6 – обшивка из досок или искусственных материалов



полнение бетонной плиты в процессе монтажа. Её объединение с деревянной частью перекрытия, например с деревоплитой, осуществляется с помощью специальных механических связей [1]. При недостаточной теплоизоляционной способности стеновых деревянных панелей последние могут объединяться с наружной обшивкой (лицевым слоем) из жестких пенополиуретановых утеплителей (рис. 7, б).

В перекрытиях больших пролетов и работающих под значительными нагрузками используют ребристые плиты. В качестве ребер как правило применяют клеодощатые балки (рис. 8). Плитную часть выполняют из деревоплиты, бетона, комплексных плит, объединенных с ребрами при помощи металлических связей. В качестве последних служат винты, вклеенные стержни, глухари и т.д. Подобные конструкции находят широкое применение в мостостроении, покрытиях и перекрытиях производственных зданий [5, 6].

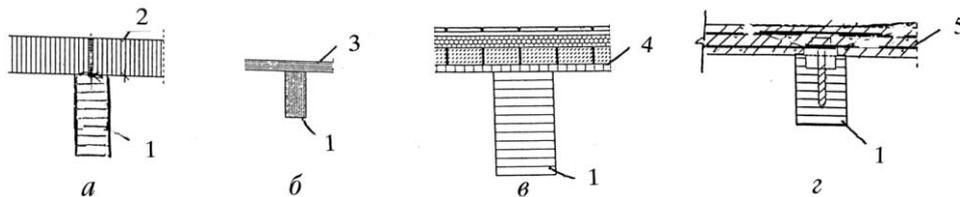


Рис. 8. Варианты ребристых покрытий: 1 – клеодощатые или склеенные из шпона балки; 2 – деревоплита составного сечения из пакета досок или брусьев; 3 – плита, склеенная из шпона; 4 – комплексная деревоплита; 5 – железобетонная плита

Приведенные выше примеры лишь в основных чертах отражают современные тенденции использования древесины в строительстве за рубежом. Некоторые из них являются развитием и практическим внедрением наших отечественных разработок периода, когда в стране действовала отрасль производства и применения клееных деревянных конструкций с рациональной утилизацией отходов и отпада от экспорта пиломатериалов. Возрождение утраченных мощностей деревообрабатывающей промышленности пока не требует крупных инвестиций – основное оборудование на новых заводах еще не успело устареть, не утрачен кадровый потенциал этой отрасли [7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев П.А.* Об усилении деревянных перекрытий реконструируемых зданий путём включения балок в совместную работу с железобетонной плитой / П.А. Дмитриев, Р.Б. Орлович // *Строительство*. – 2000. – № 1.
2. Газета «Деловая неделя». – 2000, 9 окт. – № 35 (188).
3. *Серов Е.Н.* Материал, возрожденный в большепролетных строительных конструкциях / Е.Н. Серов // *Люди и дело: альманах*. – СПб., 2000. – С. 54–58.
4. *Серов Е.Н.* Применение клееных деревянных конструкций в спортивных сооружениях / Е.Н. Серов // *Конструкции из клееной древесины и пластмасс: межвуз. сб. - Л., 1980. – С. 5–7.*
5. Эффективное использование древесины и древесных материалов в современном строительстве: тез. докл. Всесоюз. совещания, Архангельск, 1980 г. – М., – 1980. – 431 с.
6. *Bauen mit Holz.* 1990 – 2003 – N.1-12.
7. *Burdin N.* Rozwoj sektora lesno-drzewnego Rosji / N. Burdin, W. Strykowski, // *Przemysl drzewny.* – 2001. – N12.
8. *Eldog H.* Engineered Woodproducts. Definitionen und Verfahrenstechniken / H.Eldog // *Holz – Zentralblatt.* – 1997. – N110, 113.
9. *Forest products annual market review 1990–2000* // *Timber Bulletin.* – New York – Geneva, 2000. – Vol. LIII, N3.
10. *Wood handbook – Wood as an engineering material* // *Forest Products Laboratory.* – Madison, USA, 1999.

СПб ГАСУ  
Щецинский политехнический институт

Поступила 04.06.04.

*E.N. Serov, R.B. Orlovich, M. Lange*

#### **Modern Tendencies of Wood Materials Use in Foreign Building Industry**

Main tendencies of structural use of wood as bearing and filling systems in building are considered.



УДК 674. 093

***Л.В. Алексеева, Р.Г. Чернега***

Алексеева Людмила Васильевна родилась в 1960 г., окончила в 1986 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет около 30 научных трудов в области лесопиления.



Чернега Роман Геннадьевич родился в 1980 г., окончил в 2003 г. Архангельский государственный технический университет. Аспирант кафедры оборудования химико-механической переработки древесины АГТУ. Имеет 3 печатные работы в области лесопиления.



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВМЕСТИМОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ  
С УЧЕТОМ РАЗМЕРОВ СОРТИМЕНТОВ  
И ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ПОТОКАМ**

Рассмотрены варианты расчетных схем определения параметров накопителя с учетом размерных характеристик круглых лесоматериалов.

Ключевые слова: параметры накопителей, сбежистость, кривизна, лесопильный поток, сортимент.

Высокий уровень механизации и автоматизации операций процессов в современных лесопильных потоках и линиях обеспечивается наличием в них специализированных и специальных транспортно-накопительных, бункеро-ориентирующих и других механизмов [7, 8, 10].

Структура участка подачи бревен и параметры транспортно-накопительного оборудования определяются изменчивостью геометрических характеристик пиловочного сырья, производительностью лесопильного оборудования, зависят от ритма работы оборудования и рабочих циклов станков, пропускной способности оборудования, времени обработки бревен и других эксплуатационных факторов. Варианты организации участка подачи бревен приведены в работах [3, 7].

Установка буферных накопителей для бревен является условием повышения надежной бесперебойной работы оборудования лесопильного потока. Она способствует повышению непрерывности производства и более эффективному использованию производственных мощностей. Они выполняют функции как накопителя страхового запаса материала, так и транспортного органа. Методы расчета емкости буферных накопителей рассмотрены в работах [4, 7–10] и др. Расчет гравитационных или самотечных спусков дан в работе [10].

Накопители рекомендуется устанавливать при скорости конвейера более 0,3 м/с [5]. Поскольку они в большинстве случаев необходимы для ликвидации кратковременных простоев, то при условии организованной подачи сырья к бревнопильному оборудованию вместимость буферных накопителей может быть очень большой. При этом рекомендуется выбирать накопитель в виде горки с углом наклона около  $14^\circ$  и отсекателем. Размер емкости накопителя принимают без расчета, исходя из условий размещения 4...10 коротких бревен, в среднем – 6.

По методике [9] вместимость накопителя выбирают таким образом, чтобы минимизировать время простоя бревнопильного оборудования в результате простоя предыдущих участков линий. Для обеспечения бесперебойной работы при разных кратковременных и одинаковых средних величинах производительности участков используют формулу, предложенную в работе [4]. Однако этот метод расчета достаточно трудоемок и основан на подборе вместимости буферного накопителя путем перебора различных значений для достижения минимального времени простоя.

Согласно [4], при расчетах вместимости накопителя необходимо брать число изделий, выпускаемых поточной линией за смену или полсмены, но это справедливо при бесперебойной работе обоих участков линии. В соответствии с [9] число изделий следует брать за период безотказной работы линии, поскольку расчет емкости накопителей необходимо вести исходя из того, что при простое участка подачи сортиментов или бревнопильного оборудования накопление или истощение запаса в бункере будет происходить из-за простоя одного из участков.

Развитие теории расчета вместимости накопителя рассмотрено в методике [7], которая учитывает скорость конвейера по методу [5] и минимизацию времени простоя по [9]. Методика [7] предназначена для производств, где используется поточный метод распиловки сырья. В условиях полной распиловки сырья на одном оборудовании данная методика дает неадекватные результаты, расчет является трудоемким, требует большого числа данных и ограничивается условиями, которые трудно соблюдать.

Предложенная в работе [2] методика включает положение о том, что выбор емкости необходимо производить на основании данных о производительности бревнопильного оборудования. Она учитывает вероятностный характер подачи сортиментов, различающихся геометрическими параметрами [1, 3].

Цель нашей работы – определить вместимость накопителя с учетом размеров сортиментов и их распределения по потокам [6] для обеспечения непрерывной работы.

В результате проведенной работы установлено, что вместимость накопителя определяется размерными характеристиками круглых лесоматериалов, их распределением по лесопильным потокам, региональным характером распределения геометрических параметров сортиментов, что и обеспечивает непрерывную работу головного оборудования.

Интенсивность  $f_0$ , шт./с, поступления круглых лесоматериалов в лесопильный цех с объемом переработки  $N$  бревен за время  $t$ :

$$f_0 = \frac{N}{t}. \quad (1)$$

За это время лесопильный поток может выработать в среднем  $n$ , шт., сортиментов:

$$n = \frac{t}{R}, \quad (2)$$

где  $R$  – ритм работы оборудования [7],

$$R = \sum t_i P_i; \quad (3)$$

$t_i$  – продолжительность рабочего цикла, с;

$P(t_i)$  – вероятность рабочего цикла, %.

Поскольку в цехе может одновременно находиться несколько потоков, каждый из которых характеризуется своим распределением сортиментов, то интенсивность поступления сортиментов, шт./с, для  $m$ -го потока

$$f_{0m} = \frac{N}{t} \left( K_{pm} P_p + \sum_{p+1}^{r-1} P_i + K_{rm} P_r \right) = \frac{N_m}{t}, \quad (4)$$

где  $N_m$  – количество сортиментов, поступающих на  $m$ -й поток, шт.;

$K_{pm}$  – доля объема сортиментов граничного  $p$ -го диаметра между  $m-1$  и  $m$ -м потоком, относящегося к  $m$ -му потоку;

$K_{rm}$  – доля объема сортиментов граничного  $r$ -го диаметра между  $m$ -м и  $r$ -м потоком, относящегося к  $m$ -му потоку;

$P_p, P_i, P_r$  – доля бревен  $p$ -,  $i$ - и  $r$ -го диаметров в общем объеме сортиментов  $N$ .

Ритм работы, с,  $m$ -го потока

$$R_m = \sum_i \sum_j t_{mij} P_{mi} P_j, \quad (5)$$

где  $t_{mij}$  – время распиловки сортимента  $i$ -го диаметра и  $j$ -й длины на  $m$ -м потоке среди  $N_m$  сортиментов, с;

$P_{mi}$  – доля сортиментов  $i$ -го диаметра на  $m$ -м потоке среди  $N_m$  сортиментов;

$P_j$  – доля сортиментов  $j$ -й длины в общем объеме сортиментов на всех потоках.

Тогда, исходя из формулы (2), на  $m$ -м потоке за время  $t$  лесопильное оборудование может распилить  $n_m$ , шт., сортиментов

$$n_m = \frac{t}{R_m}. \quad (6)$$

Для обеспечения непрерывной работы головного оборудования необходимо, чтобы соблюдалось условие

$$N = \sum_m n_m. \quad (7)$$

Если подставить (6) в формулу (7) и сделать соответствующие преобразования, то условие (1) приобретет вид

$$f_0 = \sum_m \frac{1}{R_m}. \quad (8)$$

Условия непрерывной работы отдельного  $m$ -го потока состоят в следующем:

$$N_m = n_m$$

или

$$f_{0m} = \frac{1}{R_m}, \quad (10)$$

где  $f_{0m}$  – интенсивность поступления сортиментов на  $m$ -м потоке, шт./с.

Время простоев оборудования, с, при несоблюдении этих условий для  $m$ -го потока

$$\Delta t = |t - t_m|, \quad (11)$$

где  $t_m$  – время, необходимое для распиловки  $N_m$  сортиментов, с,

$$t_m = N_m R_m \quad (12)$$

при условии

$$N_m \neq n_m. \quad (13)$$

Время простоя  $\Delta T$ , с, за период  $T$ , в течение которого требуется достичь непрерывной работы оборудования на  $m$ -м потоке,

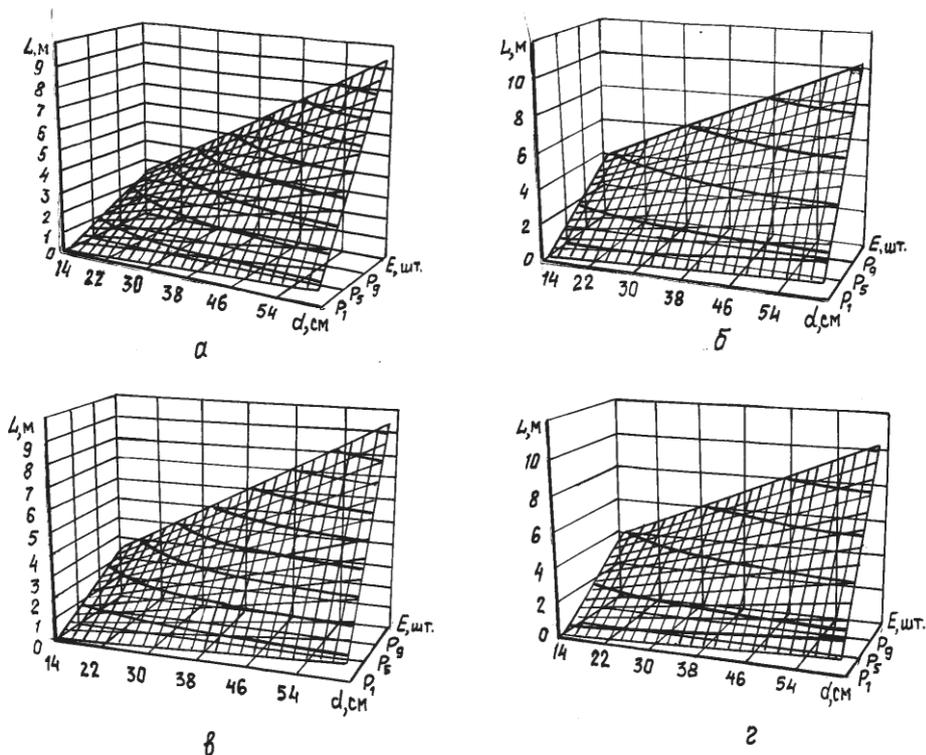
$$\Delta T = \frac{T}{t} \Delta t_m. \quad (14)$$

В этом случае для ликвидации времени простоя  $\Delta T$  за время непрерывной работы  $T$  вместимость накопителя, шт.,  $m$ -го потока

$$E_m = \frac{\Delta T}{R_m}. \quad (15)$$

Нами произведен расчет параметров накопителя с учетом геометрических характеристик сортиментов для Архангельской области. Изменение длины накопителя при вместимости от 1 до 13 шт. сортиментов с учетом их параметров представлено в трехмерном пространстве (см. рисунок). На рисунках *a* и *б* показана зависимость длины накопителя  $L$  от его вместимости  $E$  при расположении в нем круглых лесоматериалов с нормальным сбегом без кривизны и с кривизной, на рисунках *в* и *г* – от расположения в нем сортиментов с увеличенной сбежистостью без кривизны и с кривизной.

Наименьшая длина накопителя вместимостью в 1 сортимент составляет 0,1928 м для граничного диаметра 14 см при нормальном сбеге без учета кривизны, наибольшая длина накопителя вместимостью 13 сортиментов – 10,2882 м для граничного диаметра 60 см при увеличенной сбежистости и кривизне 2 %.



Изменение полезной длины накопителя в зависимости от его вместимости:  
 при нормальном сбеге (а, б) и увеличенной сбежистости (в, г):  
 а, в – без кривизны; б, г – с учетом кривизны

На основании расчетов установлено, что вместимость накопителя напрямую определяется характеристиками сортиментов, поступающих на поток, и их распределением по геометрическим параметрам. Возникающие разности в циклах обработки сортиментов приводят к простоям как лесопильного, так и предшествующего ему оборудования. Предложенная методика определения вместимости накопителя учитывает разности в циклах обработки и обеспечивает непрерывность работы потока в течение заданного периода времени.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.Е.* К вопросу о методе расчета вместимости накопителя бревен перед лесопильным станком / А.Е. Алексеев, Л.В. Алексеева, Р.Г. Чернега // Современные технологии в машиностроении: сб. статей VI Всероссийской науч.-практ. конф. – Пенза, 2003. – С. 328.
2. *Алексеев А.Е.* Определение параметров и вместимости накопителей при позиционном способе переработки сортиментов на однопильных ленточнопильных станках с подвижным пильным узлом / А.Е. Алексеев, Л.В. Алексеева, Р.Г. Чернега. – Северодвинск: Изд-во ФГУП «ПО «Севмаш», 2003. – 54 с.
3. *Алексеева Л.В.* Обоснование основных технологических параметров участка подготовки пиловочника к раскрою на однопильных ленточнопильных станках

/ Л.В. Алексеева // Наука – северному региону: сб. науч. тр. – Архангельск: АГТУ, 2002. – С. 3 – 8.

4. Вильке Г.А. Буферные магазины автоматических линий лесопромышленных предприятий / Г.А. Вильке, А.П. Полищук – М.: Изд-во Общественного заочного института, 1961. – 254 с.

5. Голяков А.Д. Проектирование участков лесопильных цехов: учеб. пособие. – Архангельск: АГТУ, 1999. – 100 с.

6. Инструкция по расчету производственных мощностей лесопильных цехов, потоков и установок. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1981. – 85 с.

7. Калитеевский Р.Е. Автоматизация производственных процессов в лесопилении / Р.Е. Калитеевский. – М.: Лесн. пром-ть, 1979. – 336 с.

8. Калитеевский Р.Е. Проектирование лесопильных потоков / Р.Е. Калитеевский. – М.: Лесн. пром-ть, 1972. – 184 с.

9. Капустин В.А. К вопросу о выборе емкости буферных магазинов / В.А. Капустин // Лесн. журн. – 1967. – С. 89 – 93. – (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Таубер Б.А. Внутриводской транспорт / Б.А. Таубер, Р.Е. Калитеевский, Е.К. Громцев; под ред. Б.А. Таубера. – М.: Лесн. пром-ть, 1978. – 239 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 02.09.03.

*L.V. Alexeeva, R.G. Chernega*

### **Determination of Storage Size Taking into Account Dimension of Assortments and their Distribution in Production Lines**

Variants of analytical models of determining the storage parameters are viewed taking into account the dimension specifications of roundwood.





## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.019.172:634.0863

*И.В. Лобова, Е.В. Новожилов, В.А. Петровичев, И.В. Мягих*

Лобова Ирина Витальевна родилась в 1975 г., окончила в 1997 г. С.-Петербургскую химико-фармацевтическую академию. Инженер НИЛ Котласского ЦБК. Имеет 8 печатных работ в области переработки эфирных масел и отбелки целлюлозы.



Новожилов Евгений Всеволодович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор Архангельского государственного технического университета, лауреат премии им. М.В. Ломоносова Архангельской областной комсомольской организации. Имеет свыше 100 научных трудов в области технологии целлюлозы и технологии переработки сульфитных щелоков.

**ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ  
ФЕРМЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ КСИЛАНАЗАМИ  
НА БЕЛИМОСТЬ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Установлено, что продолжительность обработки сульфатной хвойной и лиственной целлюлозы должна находиться в определенных пределах, превышение которых приводит к ухудшению ее делигнификации.

*Ключевые слова:* сульфатная целлюлоза, фермент-ксилаза, делигнификация, отбелка.

При получении белой сульфатной целлюлозы используют ферменты, обладающие ксиланазной активностью. Обработка целлюлозы ксиланазами перед отбелкой обеспечивает уменьшение расхода отбеливающих реагентов и снижение загрязнения окружающей среды хлорорганическими соединениями.

Механизм действия ксиланаз на сульфат-целлюлозные волокна пока недостаточно изучен. Предполагается, что происходят разрушение лигноуглеводных связей между ксиланом и лигнином, а также частичная деструкция сорбированного ксилана, расположенного на внешней поверхности волокон сульфатной целлюлозы [7], что улучшает

доступность лигнина к действию отбеливающих реагентов и облегчает его последующее удаление на стадии щелочной экстракции и промывки.

Одним из важных факторов процесса взаимодействия целлюлозы с ферментом является продолжительность обработки. Анализы фильтратов показывают, что количество растворенного материала повышается с увеличением продолжительности контакта целлюлозы с ферментом за счет перехода в раствор в основном продуктов деструкции ксилана. Некоторая часть лигнина также становится растворимой в результате разрушения лигноуглеводных связей. Взаимодействие с ферментом одновременно приводит к некоторому уменьшению числа Каппа сульфатной целлюлозы. Эти два процесса (увеличение содержания лигнина в фильтратах и снижение числа Каппа небеленой целлюлозы) хорошо согласуются между собой и дополняют друг друга. Исходя из этого, считалось [4, 6], что увеличение продолжительности обработки должно благоприятно сказываться на белимости целлюлозы.

После введения в суспензию целлюлозы ксиланазы сохраняют свою активность в течение достаточно длительного времени, до 18...24 ч [5, 6]. Выбор оптимальной продолжительности обработки имеет важное значение, так как определяет степень деструкции ксилана целлюлозы, полноту разрушения лигноуглеводных связей, степень деструкции самой целлюлозы, потери углеводной части при ферментной обработке. Фирмы, производящие ксиланазы, рекомендуют осуществлять взаимодействие целлюлозы с ферментом не менее 1...2 ч. Однако авторы [4] установили, что достаточно 10 мин, чтобы белизна целлюлозы после стадии  $D_1$  увеличилась на 1...3 %.

Цель нашего исследования – проверить, какой эффект оказывает продолжительность ферментной обработки на число Каппа целлюлозы и как меняется белимость сульфатной целлюлозы в зависимости от длительности ее взаимодействия с ферментом ксиланазного типа.

В экспериментах использовали фермент компании «Novozymes A/S» (Дания) под торговой маркой Pulprzyme HC<sup>®</sup>. В отличие от других ксиланазных препаратов, этот фермент активно действует в щелочной среде при pH 8...9, что является преимуществом при производстве беленой сульфатной целлюлозы. Как правило, ферментной обработке подвергают или небеленую целлюлозу, или целлюлозу после стадии кислородно-щелочной обработки (КЩО). Это обеспечивает сокращение расхода белящих реагентов при достижении заданной белизны целлюлозы.

Объекты исследования – сульфатная листовая целлюлоза после стадии КЩО и небеленая хвойная целлюлоза, условия обработки которых представлены в табл. 1. По рекомендациям фирмы расход фермента Pulprzyme HC для хвойной целлюлозы был задан из расчета 0,8 кг/т, для листовой – от 0,3 до 0,6 кг/т. Концентрацию лигнина в фильтратах после обработки небеленой целлюлозы определяли по методу Пирла–Бенсона [3].

Образцы листовой целлюлозы обрабатывали по схеме  $D_0$ -ЩП. Отбелку диоксидом хлора проводили при температуре 55 °С,

Таблица 1  
Условия обработки сульфатной целлюлозы ферментом Pulpzyme HC®

Показатель	Значение показателя образцов целлюлозы			
	лиственной после стадии КЩО		хвойной небеленной	
	1	2	3	4
Число Каппа	11,30	7,35	40,60	37,50
Условия обработки:				
температура, °С	60	60	40, 50, 60	50
продолжительность, мин	120; 180	20...180	120,240,360	20...120
концентрация массы, %	10,0	3,0	8,0	2,9
начальное значение рН	7,7	7,3	8,4	7,3
расход фермента, кг/т целлюлозы	0,3; 0,6	0,5	0,8	0,8

продолжительности 2 ч, концентрации массы 11 %, начальном значении рН 2,3, факторе Каппа 0,24 (образец 1) и 0,18 (образец 2). Щелочение с добавкой пероксида водорода 2 кг/т целлюлозы осуществляли при температуре 70 °С, продолжительности 180 мин, концентрации массы 11 %, начальном значении рН 11,2.

Образцы хвойной сульфатной целлюлозы обрабатывали по схеме Х-Щ. Хлорирование осуществляли при температуре 18 °С, продолжительности 2 ч, концентрации массы 3,5 %, факторе Каппа 0,11 (образец 3), и 0,09 (образец 4). Щелочную обработку вели при расходе NaOH, составлявшем 50 % от расхода хлора при температуре 70 °С, продолжительности 180 мин, концентрации массы 10...11 %, начальном значении рН 11,0...11,5.

Так как были проведены только начальные стадии отбелки, главным критерием для оценки степени белимости целлюлозы служила ее жесткость (число Каппа), дополнительно определяли белизну целлюлозы. Как видно из табл. 2, ферментная обработка лиственной целлюлозы,

Таблица 2

**Влияние продолжительности обработки ферментом Pulpzyme HC® на жесткость лиственной сульфатной целлюлозы**

Схема обработки	Расход фермента, кг/т	Продолжительность обработки, ч	Число Каппа		Белизна целлюлозы после стадии D <sub>0</sub> , %
			после обработки ферментом	после стадии D <sub>0</sub>	
T/o – D <sub>0</sub>	–	2	11,3	6,5	63,6
Ф – D <sub>0</sub>	0,3	2	10,8	5,9	64,7
Ф – D <sub>0</sub>	0,3	3	11,3	6,1	63,2
Ф – D <sub>0</sub>	0,6	2	10,7	5,6	64,4
Ф – D <sub>0</sub>	0,6	3	10,9	5,9	64,1

прошедшей стадию КЩО, привела к некоторому уменьшению числа Каппа по сравнению с целлюлозой, выдержанной в тех же условиях без добавки фермента. Можно выделить ряд причин, по которым происходит снижение жесткости целлюлозы после ее предварительной обработки ферментом: уменьшение содержания гексенуриновых кислот; частичное удаление остаточного лигнина целлюлозы; уменьшение содержания смолы (особенно соединений с ненасыщенными двойными связями); отмывка веществ черного щелока, расположенных глубоко внутри целлюлозных волокон.

При определении числа Каппа важную роль играют гексенуриновые кислоты, которые из-за наличия двойных связей способны реагировать с перманганатом калия. В нашем исследовании содержание гексенуриновых кислот после действия на целлюлозу ксиланазы не проверялось, но имеются данные [8], что их убыль при таком воздействии минимальна и не может оказать существенного влияния на число Каппа.

Фермент расщепляет связи в макромолекулах ксилана, но непосредственно не действует ни на смолу, ни на лигнин целлюлозы. Тем не менее, удаление некоторой части остаточного лигнина может происходить при растворении разрушенных при ферментной обработке лигноуглеводных комплексов.

На наш взгляд, одной из основных причин снижения числа Каппа после стадии ферментной обработки является улучшение качества промывки целлюлозы. Об этом косвенно свидетельствует более высокий рН фильтратов после ферментной обработки по сравнению с обработкой целлюлозы водой при равном начальном значении рН (табл. 3). Воздействию фермента обычно подвергают небеленую сульфатную целлюлозу при концентрации 3...12 %. С ней на дальнейшую переработку поступает некоторое

Таблица 3

**Влияние продолжительности обработки ферментом на число Каппа и белизность лиственной сульфатной целлюлозы**

Продолжительность обработки, мин	рН фильтрата после обработки	Число Каппа	Содержание лигнина в фильтрате, мг/л	Белизна целлюлозы, %	Схема Д <sub>0</sub> -ЩП	
					Число Каппа	Белизна, %
20	7,7	6,9	–	52,1	2,6	75,1
30	7,8	6,9	3	52,3	2,6	74,7
40	8,0	6,9	8	52,1	2,7	76,1
60	8,0	6,9	–	52,5	2,7	75,2
90	8,1	6,9	7	53,4	2,7	75,3
120	8,2	7,0	14	53,1	2,7	76,2
180	8,4	7,0	12	53,6	2,9	74,4
180*	8,1	7,3	6	51,3	3,1	73,8

\* Контрольный образец, обработанный водой.

количество черного щелока. Это явление является нежелательным, так как приводит к перерасходу химикатов при последующей отбелке. Обработка небеленой целлюлозы ферментом Pulprzyme HC® с последующей ее промывкой целлюлозы водой способствует удалению из волокон остатков черного щелока. Это было показано нами на стадии лабораторных экспериментов [2] и позднее подтверждено в ходе опытно-промышленных испытаний.

Улучшение способности целлюлозы к отбелке после обработки ксиланазами проявилось в том, что после стадии  $D_0$  жесткость целлюлозы, подвергнутой двухчасовой обработке ферментом, оказалась на 0,6...0,9 ед. Каппа ниже, чем в контроле (табл. 2). Эта разница весьма существенна, такое снижение числа Каппа обеспечивает значительную экономию отбеливающих реагентов. Однако при увеличении продолжительности ферментной обработки с 2 до 3 ч происходит увеличение числа Каппа на 0,5...0,6 ед. (табл. 2). Необходимо отметить, что эта тенденция к увеличению числа Каппа сохранилась у образцов целлюлозы и после стадии  $D_0$ . Это обстоятельство, а также то, что при более высокой остаточной жесткости снижалась и белизна, указывают на ухудшение белимости целлюлозы при слишком длительном выдерживании в условиях ферментной обработки.

Аналогичная зависимость была получена и для небеленой хвойной целлюлозы с числом Каппа 40,6 (см. рисунок). Обработка ферментом небеленой хвойной целлюлозы (образец 3) привела к снижению жесткости целлюлозы по сравнению с контрольным образцом, выдержанным в воде в тех же условиях обработки.

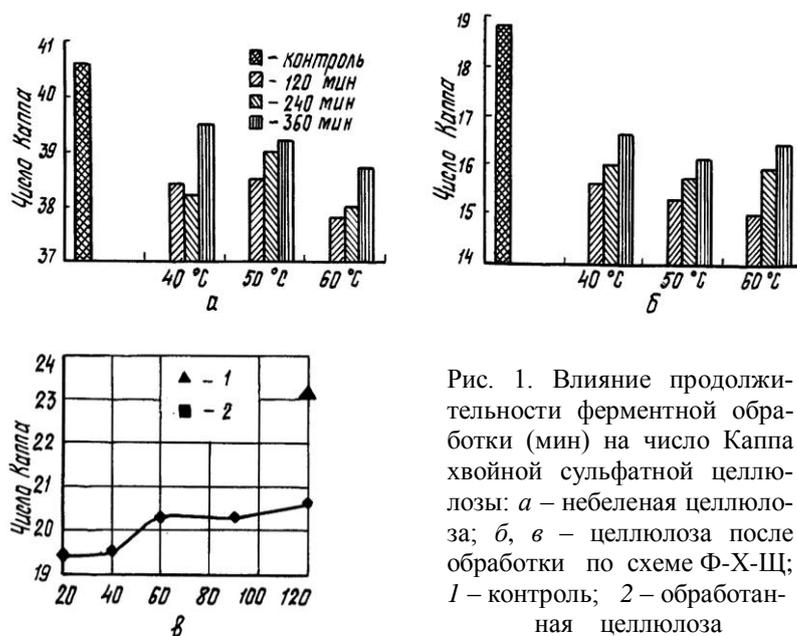


Рис. 1. Влияние продолжительности ферментной обработки (мин) на число Каппа хвойной сульфатной целлюлозы: а – небеленая целлюлоза; б, в – целлюлоза после обработки по схеме Ф-Х-Щ; 1 – контроль; 2 – обработанная целлюлоза

Число Каппа характеризует остаточное содержание лигнина и используется как основной критерий для оценки расхода отбеливающих химикатов. Следует стремиться к его максимальному снижению до начала процесса отбелики целлюлозы. Однако в интервале температур 40...60 °С увеличение продолжительности обработки с 2 до 4...6 ч привело не к снижению, а к росту числа Каппа небеленой хвойной сульфатной целлюлозы на 0,7...1,1 ед. Белимость хвойной целлюлозы после взаимодействия с ферментом улучшилась. Отбелика целлюлозы по схеме X-Щ привела к снижению числа Каппа на 2,2...3,8 ед. по сравнению с контрольным образцом. Тем не менее, и в этом случае сохранялась ранее отмеченная тенденция – целлюлоза, обработанная ферментом в течение 4...6 ч, имела число Каппа выше, чем при обработке в течение 2 ч. Эта разница составляла 0,4...1,4 ед. Каппа.

Поэтому возникла необходимость уточнить, какая продолжительность обработки ксиланазой будет оптимальной с точки зрения снижения числа Каппа целлюлозы. В следующей серии опытов минимальное время обработки составляло 20 мин. Уменьшение продолжительности взаимодействия целлюлозы с ферментом до 20...40 мин при низкой концентрации массы обеспечило снижение числа Каппа целлюлозы после отбелики по схеме X-Щ примерно на 1,0 ед. (см. рисунок). Обработка ферментом в течение 60...120 мин менее выгодна с точки зрения удаления лигнина сульфатной хвойной целлюлозы.

Аналогичные результаты были получены при обработке лиственной сульфатной целлюлозы после стадии КЩО (табл. 3). Число Каппа целлюлозы после отбелики по схеме Д<sub>0</sub>-ЩП постепенно возрастало с увеличением продолжительности обработки ферментом с 20 до 180 мин. Одновременно протекал противоположный процесс растворения лигнина, о чем свидетельствует нарастание его концентрации в фильтрате в течение всей обработки. Несомненно, что основные изменения с лигнином происходят непосредственно в волокне при выдерживании целлюлозы с ферментом, а последующая отбелика только подтверждает снижение реакционной способности остаточного лигнина целлюлозы и ухудшение ее белимости при слишком продолжительной обработке.

Ранее было установлено [1], что при увеличении продолжительности обработки лиственной сульфатной целлюлозы в кислой среде водным раствором SO<sub>2</sub> и серной кислотой при pH 2...5 наблюдалась тенденция к росту содержания кислотонерастворимого лигнина. Было сделано предположение, что при температуре выше 70 °С и низком значении pH происходят структурные изменения остаточного лигнина, связанные с его конденсацией, что ведет к ухудшению белимости целлюлозы.

Важным является то обстоятельство, что остаточный лигнин сульфат-целлюлозных волокон сохраняет высокую реакционную способность и склонность к изменению своих свойств при выдерживании целлюлозы. Это увеличивает число Каппа и ухудшает белимость

целлюлозы. В зависимости от вида фермента значение рН при обработке может быть или около 4...5, или находится ближе к нейтральной среде (7...8). Как показали наши исследования, и в таких условиях проявляется влияние продолжительности обработки ферментом на свойства остаточного лигнина целлюлозы. Это имеет место и для небеленой целлюлозы, и для целлюлозы после КЩО, хотя в последнем случае остаточное содержание лигнина очень низкое. Возможно, что реакции разрушения лигноуглеводных связей позволяют отдельным фрагментам лигнина вступать в реакции конденсации между собой.

По представленным данным, оптимальная длительность взаимодействия целлюлозы с ферментом не должна превышать 40...60 мин. Сокращение продолжительности важно не только с точки зрения экономии отбеливающих химикатов, но и для снижения эксплуатационных затрат на стадии обработки целлюлозы ферментом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королева Т.А. Влияние предварительных кислых обработок перед отбелкой на показатели лиственной сульфатной целлюлозы / Т.А. Королева [и др.] // Лесн. журн. - 2002. - № 1 – 2. - С. 122-127. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Новожилов Е.В. Влияние ферментной обработки ксиланазой Pulpzyme НС на жесткость сульфатной целлюлозы / Е.В. Новожилов [и др.] // Сб. науч. тр. «Наука – северному региону». – Архангельск, 2002. - С. 177-180.
3. Унифицированные методы анализа вод / под ред. Ю.Ю.Лурье – М.: Химия, 1971. – 376 с.
4. Biotechnology in Pulp and Paper Industry / volume editor К.-Е. L. Eriksson //Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 1997. – 339 p.
5. Christov L. Xylan removal from dissolving pulp using enzymes of *Aureobasidium pullulans* / L.Christov, B.Prior // Biotechnology Letters. – 1993. - Vol. 15, N 12. - P. 1269-1274.
6. Paice M. Mechanism of hemicellulose-directed prebleaching of kraft pulps/ M.Paice [et al.] // Enzyme Microb. Technol. – 1992. – Vol. 14, N 4. - P. 272-276.
7. Pulp Bleaching. Principles and Practice / editors C.W. Dence, D.V.Reeve // TAPPI press. – Atlanta, Georgia, 1996. – 868 p.
8. Wong K.K.Y. Effect of alkali and oxygen extractions of kraft pulp on xylanase – aided bleaching / K.K.Y. Wong, R.W. Allison, S. Spen // 2000 International Pulp Bleaching Conference. TAPPI of Canada: oral presentations. – Monreal, 2000. – P. 65 – 71.

ОАО «Котласский ЦБК»

АГТУ

ОАО «Росалко»

Компания «Новозаймс А/С» (Дания)

Поступила 14.04.04.

*I.V. Lobova, E.V. Novozhilov, V.A. Petrovichev, I.V. Myagkikh*

#### **Influence of Enzyme Processing Time by Xylanases on Bleachability of Sulphate Pulp**

It is determined that the processing time of sulphate softwood and hardwood pulp should be within certain limits and their exceeding results in worsening of its delignification.

**В.К. Дубовый, Г.И. Чижов, В.В. Хованский**

Дубовый Владимир Климентьевич родился в 1967 г., окончил в 1991 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры целлюлозно-бумажного производства С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 40 печатных работ в области технологии бумаги и картона.



Хованский Владимир Валентинович родился в 1947 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бумаги и картона С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет около 40 печатных работ в области технологии бумаги и картона.



### **ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВОЗНИКНОВЕНИЯ СВОЙСТВА ВЛАГОПРОЧНОСТИ В БУМАГЕ ИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН**

Экспериментально изучен механизм возникновения свойства влагопрочности в бумаге из минеральных волокон под влиянием добавок соединений алюминия в сочетании с тепловой обработкой готового материала.

*Ключевые слова:* бумага, минеральные волокна, соединения алюминия, влагопрочность, неорганическое связующее.

Известно [2], что добавка в бумажную массу соединений алюминия может в определенных условиях не только повысить прочность бумаги, но и придать ей постоянную влагопрочность. Одним из обязательных условий является кратковременная (в течение 1...10 мин) обработка бумаги при температуре 150...200 °С. Механизм приобретения термообработанной бумагой, содержащей соединения алюминия, свойства влагопрочности экспериментально не изучен. Существуют различные гипотезы возникновения влагопрочности в бумаге с добавками соединений алюминия. Одни исследователи [3] поддерживают гипотезу о том, что в процессе тепловой обработки бумаги, содержащей соединения алюминия, возникают не разрушаемые водой гемацетальные связи между целлюлозой и гemicеллюлозами, а образование этих связей катализируется ионами водорода и алюминия. Существует также мнение [5], что в среде, близкой к нейтральной, под воздействием повышенной температуры (150...200°С) происходит структурная перестройка гидроксида алюминия, связанного с целлюлозой, в результате чего связи между волокнами становятся более прочными и могут противостоять воздействию воды, а это наряду с «ороговением» волокон, делает бумагу влагопрочной.

Было решено экспериментально проверить вторую гипотезу. В целях исключения влияния изменений, происходящих с целлюлозными волокнами

в процессе термообработки, в первой серии опытов было использовано ультратонкое стекловолокно (УСТВ). Это волокно, будучи гидрофильным и имея на поверхности ионы гидроксила, должно образовывать координационные связи с гидроксидом алюминия [1]. Предварительные опыты подтвердили это предположение, причем, как и в случае с целлюлозными волокнами, максимальная прочность отливок отмечена при pH 9,0...9,5. Прочность отливок, не содержащих соединений алюминия, была настолько мала, что они разрушались при попытке снять их с сетки листоотливного аппарата.

С помощью дериватографа было установлено [2], что взятые для опытов УСТВ не изменяют своих свойств при нагревании до 615 °С, после чего они плавятся. Следовательно, все изменения свойств отливок из УСТВ после термообработки при 150...200 °С могут быть связаны со структурной перестройкой гидроксида алюминия. Стекловолоконные волокна распускали в ролле при pH 3 в течении 15 с, поскольку именно в этих условиях они лучше всего диспергируются в воде. Образцы (масса 1 м<sup>2</sup> – 100 г) изготавливали на аппарате ЛА-М69 по общепринятой методике при pH 9,5. В качестве добавки использовали алюминат натрия.

Исследования проводили с применением факторного метода планирования эксперимента по плану первого порядка. Переменные факторы: расход алюмината натрия –  $X_1$  (пределы варьирования от 10 до 30 % с интервалом варьирования 10 %), температура термообработки –  $X_2$  (пределы варьирования от 150 до 200 °С с интервалом 25 °С), продолжительность термообработки –  $X_3$  (пределы варьирования от 1 до 11 мин с интервалом 5 мин). Исследуемые параметры: разрывной груз в сухом  $Y_1$  и влажном  $Y_2$  состояниях, влапрочность  $Y_3$ .

На основании реализации плана полного факторного эксперимента типа 2<sup>3</sup> были получены соответствующие уравнения регрессии первого порядка и проведена их проверка на адекватность, закончившаяся положительно. Для лучшей наглядности уравнения были решены относительно изменения переменных  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$  в пределах от –1 до +1. На рис. 1, 2 дана их графическая интерпретация.

Рис. 1. Влияние расхода алюмината натрия и температуры термообработки (при  $X_3 = 11$  мин) на разрывной груз бумаги в сухом (а) и влажном (б) состояниях при различной температуре: 1 – 200,0 °С; 2 – 187,5; 3 – 175,0; 4 – 162,5; 5 – 150,0 °С

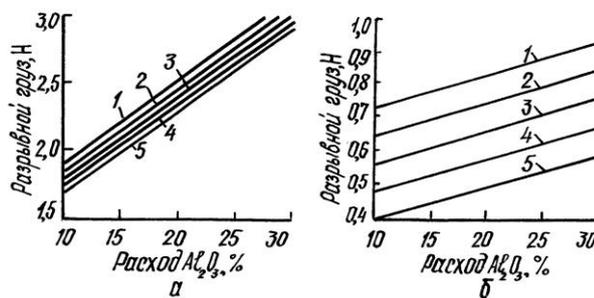
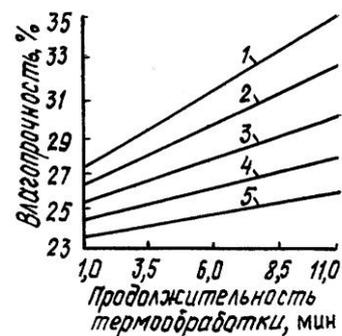


Рис. 2. Влияние продолжительности и температуры термообработки (при  $X_1 = 10\%$ ) на влагопрочность образцов из стекловолокна (см. обозначения на рис. 1)

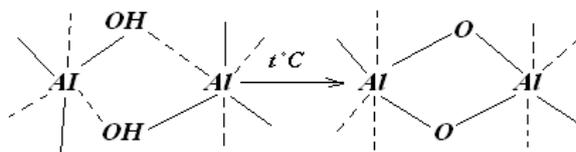


Анализ наблюдаемых закономерностей показывает, что разрывной груз у бумаги в сухом состоянии заметно возрастает при увеличении расхода добавки от 10 до 30 % и незначительно повышается с ростом температуры обработки от 150 до 200 °С, что косвенно свидетельствует о росте суммарной энергии связей гидроксида алюминия с волокнами.

Разрывной груз во влажном состоянии значительно (на 190 %) увеличивается при повышении температуры и в меньшей степени (на 150 %) с ростом расхода добавки алюмината натрия. Влагопрочность образцов определяется в первую очередь режимом тепловой обработки. На рис. 2 показано, что при увеличении температуры от 150 до 200 °С и продолжительности термообработки от 1 до 2 мин влагопрочность отливок, содержащих 10 % алюмината натрия, возрастает в 1,5 раза.

Таким образом, предположение о наличии зависимости между влагопрочностью бумаги и структурной перестройкой полиядерных комплексов алюминия в процессе термообработки нашло экспериментальное подтверждение.

Переход в нерастворимое состояние связан с изменением структуры гидроксида алюминия, которое, по мнению [4], заключается в дегидратации, когда ионы алюминия связаны не гидроксильными, а оксомостиками.



Эта схема, по нашему мнению, является вполне вероятной, так как связь ионов алюминия посредством главных валентных сил через кислород должна быть более прочной, чем через гидроксильные группы. Если исходить из данных, полученных на дериватографе [2] то максимальная влагопрочность образцов, содержащих соединения алюминия, должна наблюдаться при 450...500 °С, когда происходит практически полная дегидратация гидроксида. Проверка показала, что термообработанные при 450 °С в течение 30 мин образцы из стекловолокна с добавкой 10 % алюмината на-



2. *Чижев Г.И.* Новые направления в использовании соединений алюминия при производстве бумаги: обзор. информ. (Целлюлоза, бумага, картон; вып. 3) / Г.И. Чижев. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1984. – 49 с.

3. *Back E.L.* Reactions in Dimensional Stabilisation of Paper and Fibre Building Board by Heat - treatment / E.L. Back, L.E. Klinga //Svensk Papperstidn. – 1963. – Vol. 66, N19. – P.745 – 753.

4. *Erdey L.* Ein neues thermisches verfahren : die Derivations thermogavimetrie / L.Erdey, F.Paulik, G .Paulik // Acta Chem. Acad. Scient. Hungarical. – 1956. – N10. – S.1 – 3, 61 – 97.

5. *Hechler E.* Aluminiumsalze und ihre Bedeutung für die nassfestigkeit / E.Hechler // Wochenblatt für Papierfabrikation.– 1968. – N 21. – S. 161 – 165.

СПб ГЛТА  
СПб ГТУ РП

Поступила 26.11.04

*V.K. Dubovyj, G.I. Chizhov, V.V. Khovansky*

**Study of Mechanism of Wet Strength Property Occurrence  
in Paper Made of Mineral Fibers**

Mechanism of wet strength property occurring in paper made of mineral fibers under the influence of additives of aluminum compounds in combination with thermal treatment of the finished material has been studied experimentally.

---

Удк 676.12

**Д.А. Дулькин, Л.А. Южанинова, В.Г. Миронова,  
В.А. Спиридонов**

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



## **НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ**

Проведен теоретический анализ влияния на бумагообразующие свойства волокон процессов их переработки, в результате которых происходят некоторые необратимые физико-химические изменения. Установлено, что на способность макулатурной массы к регенерации в основном влияют такие технологические операции, как размол, мокрое прессование, сушка и каландрирование.

*Ключевые слова:* макулатурная масса, бумагообразующие свойства, ороговение, набухание, разволокнение, усадка, ионный обмен, осмотическое давление, поверхностное натяжение, капиллярные явления, внешнее и внутреннее фибриллирование.

### ***Изменение бумагообразующих свойств макулатурной массы в процессе многократной переработки***

#### *Набухание волокон*

Известно, что переработка волокнистого сырья ведет к заметному изменению его бумагообразующих свойств. Установлено, что это изменение связано с явлением "необратимого ороговения", косвенно выражающегося в уменьшении способности волокон к набуханию в процессе размола и выдерживания макулатурной массы перед подачей на БДМ [14]. На способность массы к регенерации влияют такие технологические процессы, как размол, мокрое прессование, сушка и каландрирование, причем, чем "жестче" обработка, тем в большей степени снижаются свойства перерабатываемой бумаги. Установлено, что снижение способности к регенерации связано со снижением показателя внутреннего набухания волокон. Размолотая масса характеризуется большей степенью внутреннего расслоения (фибриллирования), чем неразмолотая, причем это расслоение исчезает в процессе сушки и не восстанавливается при последующем роспуске. Волокна с высокой степенью помола не восстанавливают полностью способность к набуханию.

Коллоидный процесс набухания технической целлюлозы в воде или в растворе щелочи, по мнению В. А. Каргина и Г. Л. Слонимского, аналогичен процессу набухания других полимеров и может быть представлен как

результат влияния различия скоростей диффузии малых и больших молекул. Малые молекулы воды быстро диффундируют в массу полимера, в то время как большие молекулы полимера весьма медленно проникают в занятый водой объем и, будучи длинными и гибкими, способны сохранять связность и удерживать форму тела, подобную исходной форме, даже при большом количестве воды, продиффундировавшей внутрь полимера [5].

Щелочная обработка вносит вклад в набухание волокон вследствие реакций ионного обмена [1,14, 17]. Кислотные группы, например карбоксильные группы полисахаридов, в пределах стенки волокна диссоциируют. Волокно усиленно набухает вследствие осмотического давления, производимого встречными катионами, содержащимися в растворе (Donnan-эффект). Уровень набухания увеличивается в следующем ряду катионов:  $Al^{3+} < H^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+} < Li^+ < Na^+$ . При переработке целлюлозной массы с низким выходом эффект осмотического давления, вызываемого ионами натрия, вероятно, не в состоянии открыть ороговевшую поверхность стенки волокна без механического действия фибриллирующего размола.

Существенными факторами, влияющими на скорость диффузии реагентов внутрь волокна, а следовательно, и на набухание целлюлозы, являются величина внутренней поверхности целлюлозного волокна, определяемая размерами и распределением имеющихся в нем капилляров (пор), и изменение размеров капилляров в результате различных обработок целлюлозы. Определение суммарной внутренней поверхности материала и, особенно, ее изменений в результате различных воздействий на целлюлозу – очень существенный дополнительный метод характеристики структуры целлюлозных материалов. Несмотря на то, что целлюлозное волокно не представляет собой сплошное тело, а имеет сложную фибриллярную (капиллярно-пористую, коллоидную) структуру, пронизанную порами и капиллярами различной величины, в большинстве опубликованных работ по изучению структуры и реакционной способности целлюлозы влияние этого фактора и, особенно, изменения суммарной внутренней поверхности целлюлозного материала в результате различных обработок, как правило, не учитываются. Суммарная внутренняя поверхность, определяемая одним и тем же методом, значительно изменяется в зависимости от температуры сушки целлюлозы. Чем выше температура сушки, тем меньше суммарная поверхность капилляров [6].

Способность целлюлозы к набуханию может изменяться в широких пределах в зависимости от условий ее получения, качества исходного сырья и химического состава целлюлозы. При всех прочих равных условиях увеличение в целлюлозе содержания пентозанов приводит к повышению ее способности к набуханию.

Набухание волокон ускоряет процесс размола и, что весьма существенно, облегчает образование на поверхности волокон тонких и тончайших фибрилл (внешнее фибриллирование), способствующих в дальнейшем связыванию волокон между собой. При смачивании целлюлозы водой контакт между ними происходит в первую очередь через гидроксильные группы на

поверхности волокон. Затем вода проникает через межмицеллярные пространства и связывается с гидроксильными группами на поверхности мицелл, что и служит причиной набухания волокон. Внутри мицелл (упорядоченных структур) вода не проникает. При набухании волокон связь между мицеллами и микрофибриллами ослабляется, что и способствует ускорению размалывающего эффекта. Чрезмерное набухание основной части волокна нежелательно, так как прочность волокна при этом резко снижается в результате нарушения его целостности [9].

Структурно упорядоченная, или, как ее условно называют, кристаллическая область технической целлюлозы, и структурно неупорядоченная (аморфная) ведут себя по отношению к воде различно. Аморфные области целлюлозы более доступны проникновению воды и набуханию. Поэтому, когда при размоле разворачивается наружная поверхность волокон, процесс размола интенсифицируется.

В целлюлозе высокого выхода содержится большое количество гемицеллюлоз, что, казалось бы, должно способствовать набуханию волокон и возникновению прочных межволоконных связей. Однако в действительности целлюлоза высокого выхода сильно не набухает, так как лигнин препятствует набуханию гемицеллюлоз, а также образованию на поверхности волокон тонких и тончайших фибрилл. Гемицеллюлозы преимущественно покрывают фибриллы и играют роль связующего агента между лигнином и микрофибриллами. Они имеют более короткие цепи по сравнению с целлюлозой и при набухании могут создавать поперечные гибкие связи между соседними волокнами. Упомянутый лигнино-гемицеллюлозный гель предотвращает формирование водородных связей между микрофибриллами в процессе высыхания и держит промежутки между фибриллами доступными для воды. Процесс роспуска целлюлозных волокон низкого выхода уменьшает количество лигнино-гемицеллюлозного геля, что делает возможным необратимое водородное соединение между микрофибриллами с помощью водородных связей. При роспуске механической (древесной) массы этот гель остается неповрежденным. Поэтому целлюлоза высокого выхода труднее размалывается, чем целлюлоза нормального выхода.

По А. Scallan [20], лигнин является связывающим материалом в слоистой структуре микрофибрилл в пределах клетки.

Набухание и гидратация целлюлозных волокон проявляют экзотермический характер, т. е. сопровождаются выделением тепла, поэтому с понижением температуры волокна лучше фибриллируются и изготовленная бумага оказывается более прочной. Экзотермичность процесса смачивания волокон целлюлозы водой и их набухание обусловлены гидратацией функциональных групп целлюлозы, в основном гидроксильных. Очевидно, чем больше гидроксильных групп доступно воздействию воды, тем больше выделяется тепла. По набухаемости в воде можно судить о пластичности, приобретаемой волокнами при погружении в воду. Чем больше гемицеллюлоз содержит волокнистый материал, тем большую пластичность он приобретает при погружении в воду.

В общем случае процесс набухания полимера проходит в две стадии. На первой стадии поглощается немного жидкости, выделяется тепло (теплота набухания) и происходит объемное сжатие. Объем набухшего полимера оказывается меньше, чем суммарный объем полимера и поглощенной жидкости; объемное сжатие (контракция) объясняется тем, что маленькие молекулы растворителя (воды или щелочи), проникающие в промежутки между макромолекулами, способствуют более плотной упаковке системы. Жидкость, поглощенная на первой стадии набухания (с выделением тепла), расходуется на сольватацию полярных групп полимера. Измерения показывают, что энергетически прочно с полимером связывается небольшое количество жидкости – один моль на один моль полярных групп полимера. Следовательно, сольватный слой на макромолекулах в растворе полимеров имеет толщину в одну молекулу (мономолекулярен). Это очень важное обстоятельство удалось выяснить, исследуя теплоту набухания.

На второй стадии набухания поглощается много жидкости без выделения тепла. Поглощенная жидкость никак не связывается с макромолекулами полимера, а просто диффузно всасывается пористой структурой волокна, образуемой микрофибриллами. Набухание, а затем ограниченное растворение происходят самопроизвольно [5].

#### *Сушка и ороговение волокон*

На свойства волокон целлюлозы особенно сильное влияние оказывает процесс их сушки, в результате которого происходят некоторые необратимые изменения свойств волокон: потеря эластичности, ороговение поверхности и увеличение хрупкости.

Бумага является не просто капиллярно пористым, а еще и коллоидным материалом. Следовательно, в процессе ее сушки имеют место и необратимые явления сушки коллоида, которые отражаются на свойствах готового материала. Эти изменения свойств в процессе сушки бумаги в значительной степени могут быть объяснены установленными необратимыми изменениями в структуре стенки волокон, из которых она состоит.

Физическую природу происходящих при сушке необратимых изменений связывают с тем, что вначале сжимается внутренний канал (люмен) и поры волокон, трубчатая форма волокон переходит в ленточную, а затем к наружной поверхности волокон присоединяются отдельные фибриллы и мелкие волокна. Наконец, десорбируется вода из стенок волокон, что особенно сказывается на необратимости свойств высушенных растительных волокон. Установлено, что даже при сушке волокон целлюлозы в весьма мягких условиях с добавкой смачивателей происходит некоторое уменьшение размера пор. Все другие методы сушки приводят к необратимому и почти полному исчезновению пор размером менее 1 нм [9].

Внутренняя и внешняя фибрилляции волокнистой структуры физически влияют на способность соединения волокон. Внутренняя фибрилляция волокнистой структуры улучшает гибкость и бумагообразующие свойства волокон. Измерения гибкости и жесткости могут быть косвенными методами определения количества внутреннего фибриллирования волокнистой

структуры индивидуального волокна.

При исследовании [26] полуфабрикатов мягкой древесины (термомеханическая масса, химико-термомеханическая масса и размолотая обесцвеченная крафт-бумага) волокна анализировали после одно и пятикратной переработки, заключающейся только в роспуске и обезвоживании образцов без использования химикатов, с последующим отливом бумажного листа и его сушкой.

Было установлено, что химические (целлюлозные) волокна были почти все сжаты до плоского состояния уже после первого цикла. Сокращение толщины стенки наблюдалось у всех волокон, хотя измерения грубости волокон не выявили никаких существенных изменений. Как выяснилось, многократная рециркуляция уменьшила жесткость стенки волокна (т.е. причиной сокращения области люмена является уменьшение жесткости материала стенки и внутренняя фибрилляция волокнистой структуры). Эта внутренняя фибрилляция волокнистой структуры и последовательное сглаживание (выравнивание толщины) механических волокон были результатом многократной переработки без размола и каландрирования. Силы, которые в состоянии деформировать материал клетки волокна в процессе такой легкой (щадящей) обработки, могут быть сжимающими, вызванными усадкой структуры волокна в процессе высыхания. Силы усадки, вызванные поверхностным натяжением воды, могут достигать 100...1000 атм, когда размер

доступных для воды пор в аморфных микроструктурах стенки клетки измеряется в миллимикронах.

Волокна сжимаются приблизительно в десять раз больше в поперечном, чем в осевом направлении. В целлюлозе низкого выхода, например, эти силы сжатия, возникающие на заключительной стадии высыхания, не позволяют, очевидно, открывать водородные связи, образовавшиеся на участках волокон в процессе ранее произошедшего ороговения. Вероятно, при усадке стенок целлюлозных волокон в точках контакта между ними происходит передача сжимающих усилий, и в волокнах возникают так называемые микросжатия [3].

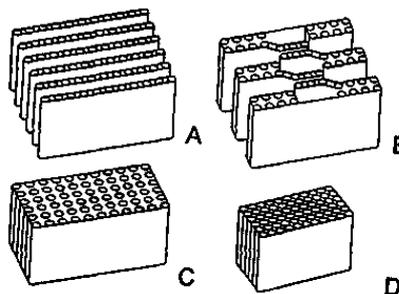
Влага является пластификатором растительных волокон. Поэтому повышение влажности бумаги увеличивает ее пластичность, благодаря чему она хорошо уплотняется и выглаживается, проходя между валами каландра. Пропуск через каландр чрезмерно сухой бумаги влечет за собой частые обрывы бумажного полотна, к тому же качество каландрированной бумаги при этом оказывается невысоким: она имеет низкие показатели гладкости, лоска и плотности. Вместе с тем слишком высокая влажность каландрируемой бумаги также неприемлема. В этом случае возможны обрывы, раздавливание структуры бумажного полотна, а также потемнение бумаги и появление на ее поверхности залощенных темных и просвечивающих мест. Последний дефект особенно резко проявляется тогда, когда увлажнение бумаги перед каландрированием было неравномерным и на ее поверхность попадали крупные капли разбрызгиваемой воды.

В отличие от химической целлюлозы, более слабая механическая масса не только не ухудшает, но даже несколько улучшает свой потенциал связеобразования в процессе 1–6 циклов переработки.

По современным представлениям, ороговение происходит в клеточной стенке древесного волокна [20]. В процессе высыхания расслоенные части стенки волокна, т. е. целлюлозные микрофибриллы, становятся связанными (рис. 1), между ними формируются водородные связи, а также происходят переориентация и выравнивание микрофибрилл. Все это приводит к образованию сомкнутой структуры.

При последующем роспуске в воде микроструктура клеточной стенки волокна остается более стойкой к разволокнению, потому что некоторые водородные связи уже не открываются. Поэтому вторичное волокно

Рис. 1. Изменения в структуре стенки волокна [25]:  
A – D – стадии высыхания



более жесткое и ломкое [12, 13]. Согласно некоторым недавним исследованиям [19], ороговение не увеличивает кристалличность целлюлозы или степень упорядочения гемицеллюлозы в стенке волокна.

U. Weise и H. Paulapuro [26] провели обстоятельные исследования динамики сушки волокна, изучив поперечные срезы волокна крафт целлюлозы при различной влажности на сканирующем лазерном микроскопе и одновременно измерив ороговение с определением водоудерживающей способности (Wasser-ruckhaltevermogens – WRV).

Необратимое ороговение волокон начинается при концентрации массы 30..35% и продолжается до 70...80 % в зависимости от степени помола. Ороговение не следует непосредственно за усадкой, так как самая большая усадка волокон происходит при сухости выше 80 %. На рис. 1, 2 схематически показаны изменения в волокнах на различных стадиях высыхания.

Стадия A представляет влажное волокно крафт-бумаги перед высушиванием. На стадии B, вследствие удаления влаги, начинают происходить морфологические изменения в матрице стенки волокна при концентрации волокна, приблизительно равной 30 %. Ламеллы (фибриллы) стенок волокна начинают приближаться друг к другу под действием капиллярных сил. На протяжении этой стадии полость (просвет) в поперечнике фибриллы может сократиться. По мере дальнейшего высыхания расстояние между фибриллами продолжает уменьшаться и к стадии

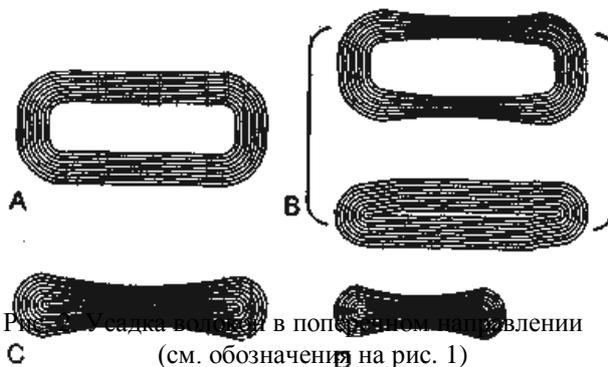


Рис. 2. Усадка волокон в поперечном направлении (см. обозначения на рис. 1)

С большинство свободных пустот в фибриллярной структуре стенки клетки полностью закрываются. Усадка волокон происходит исключительно под прямым углом к слоям фибрилл, и стенки волокна становятся более тонкими. На стадии А ширина стенки на срезе волокна еще не изменяется. К концу высыхания на стадии D, удаление влаги происходит в тонкой структуре стенки волокна, т. е. в ее аморфной зоне. Волокна крафт-бумаги дают сильную равномерную усадку на заключительной стадии высыхания при содержании сухого вещества более 75...80 %.

Усадка, происходящая в волокне на стадии D, обратима. Повторное увлажнение волокон крафт-бумаги восстанавливает их первоначальную форму. Ороговение происходит постепенно на стадиях В и С. Первоначальные размеры, зафиксированные при оригинальных замерах среза свежего волокна, не достижимы при повторном увлажнении образца. Пространство между микрофибриллами в слоистой структуре клеточной стенки становится не полностью открытым, и они (микрофибриллы) остаются частично не доступными воде.

Ороговение уже начинается на уровне сухости бумажного полотна, типичной для прессовой части БДМ. Ороговение увеличивается с ростом степени помола целлюлозы. Интенсивность сушки бумажного полотна также увеличивает ороговение волокон [22]. U. Weise [24] отмечает "влажное" ороговение при сухости более 30...35 %, описанное выше, и "сухое" ороговение, т. е. дополнительное ороговение волокон, которое происходит при высушивании листа крафт-бумаги при температуре 105°C до 100 %-й сухости. На практике свойства ороговевшей целлюлозы низкого выхода могут часто восстанавливаться в процессе фибриллирующего размола.

Различная склонность к ороговению различных типов целлюлозы наиболее очевидна в сравнении с показателями *WRV*.

Главная характеристика "более умеренного", описанного выше, ороговения в механических волокнах заключается в их способности удерживать воду после высушивания (вследствие сохранения гемицеллюлозо-лигнинового геля). Целлюлозные волокна более низкого выхода такой способностью не обладают.

#### *Каландрирование бумаги*

Исследования влияния каландрирования на перерабатываемость макулатуры на основе бумаги из древесной массы и без нее показали, что чем выше степень каландрирования бумаги, тем в большей степени снижается разрывная длина образцов, полученных из массы на основе такой бумаги. Этот эффект связан со снижением показателя водоудержания и уменьшением длины волокна. При увеличении степени каландрирования ухудшается также разрывная длина и степень обезвоживания массы. Такой эффект наблюдается при всех показателях исходной степени помола массы, но не в одинаковой мере. Так, прочностные показатели бумаги, изготовленной из слабо размолотой массы, ухудшаются в большей степени, чем у бумаги из массы высокой степени помола. Влага является пластификатором расти-

тельных волокон. Поэтому повышение влажности бумаги увеличивает ее пластичность, благодаря чему она хорошо уплотняется и выглаживается, проходя между валами каландра.

Одним из авторов этого обзора были проведены исследования влияния каландрирования двухслойной обойной бумаги на изменение ее пористой структуры [2]. В отобранных образцах определяли пористость всей массы, а также основного и поверхностного слоев.

Исследования осуществляли на приборе КРМ-1 с  $\alpha$ -излучением и  $N_1$ -фильтром. Рассеянное излучение регистрировали с помощью рентгеновского сцинтилляционного счетчика БДС-06 с дальнейшим выведением результатов на цифровую печать. Образцы бумаги одинаковой массы закрепляли неподвижно и помещали в камеру рентгеновского облучения, подвергаемую вакуумированию до  $10^{-1}$  кг/см<sup>2</sup> для исключения рассеивания рентгеновского излучения частицами воздуха.

Размер пор, мм	Количество пор $n \cdot 10^{16}$ в 1 м <sup>3</sup> бумаги		
	Общая масса образца	Основной слой	Поверхностный слой
6,2	<u>59,50</u>	<u>69,50</u>	<u>46,70</u>
	55,10	58,20	41,90
10,8	<u>14,10</u>	<u>13,50</u>	<u>12,80</u>
	13,50	12,90	12,50
36,7	<u>1,43</u>	<u>1,20</u>	<u>1,62</u>
	1,26	1,16	1,45

Примечание. В числителе приведены данные для некаландрированной бумаги, в знаменателе – для каландрированной.

Измерения рентгеновской дифракции проводили в интервале углов 5...80° с интервалом сканирования 2,5°. В этом же интервале измеряли фоновое рассеивание. При расчетах вносили поправки на поглощение излучения образцом.

В таблице приведена сравнительная характеристика пор одинаковых размеров в разных слоях исследованных образцов. Сравнение приведенных данных показывает, что во всех слоях каландрированной бумаги количество пор одного и того же размера меньше, чем в некаландрированной. Наибольшая разница отмечена для малых пор. Установлено, что в обоих образцах поверхностный слой является менее пористым, а процесс каландрирования значительно уменьшает количество малых пор.

### ***Разволокнение макулатуры***

#### *Химико-физические процессы*

Известно, что активные гидроксильные группы на поверхности волокон должны быть сольватированы молекулами воды, которые схематично обозначают в виде диполей. При сближении мокрых волокон образуются мостиковые связи по схеме, представленной на рис. 3. При высыхании в первую очередь удаляется средняя молекула воды, а крайние сближаются, вновь связываются активные группы волокон [9]. Сближению волокон между собой при удалении сушкой воды, находящейся в капиллярах (порах) листа, способствуют силы поверхностного натяжения воды, вызывающие усадку бумаги. При этом отдельные цепочки целлюлозы вступают между собой в тесный контакт с образованием мостиковой водородной связи за счет взаимодействия друг с другом соседних гидроксильных групп. Водяной мостик при этом заменяется водородным (рис. 4).

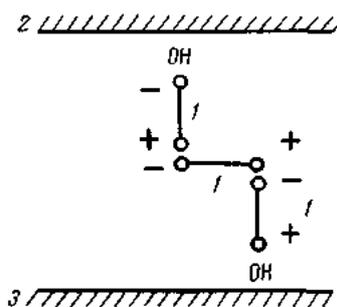


Рис. 3. Схема мостиковых межволоконных связей через диполи воды: 1 – диполи воды; 2 – первое волокно; 3 – второе волокно

При увлажнении сухой бумаги вода проникает в поры листа, раздвигает волокна, вызывая их набухание. При этом рвутся прочные водородные мостики (рис. 2, А), и волокна оказываются связанными непрочными водяными мостиками (рис. 2, В). К тому же вода, как смазка, уменьшает взаимное трение волокон, что также приводит к снижению механической прочности бумаги в результате ее увлажнения.

Полагают, что влага, соприкасающаяся с поверхностью клееной бумаги, спустя некоторое время, преодолев гидрофобные преграды частиц осадка канифольного или иного клея, проходит через межволоконные поры на другую сторону листа.

Доступные для жидкости поверхности волокон также не равноценны с точки зрения смачивания. Покрытые гидрофобным клеевым осадком внешние поверхности смачиваются хуже, чем поры волокон и внутренние пути возможного прохождения жидкости, доступ частиц клея в которые ограничен. Поэтому влага, соприкасающаяся с волокнами хотя бы на какой-то части их поверхности, проникает внутрь через поры в стенках волокон и далее распространяется по внутренним влагонепроводящим путям волокон в соответствии с законом капиллярного впитывания со скоростью, значительно превышающей в сильно проклеенной бумаге скорость движения жидкости по капиллярам и порам,

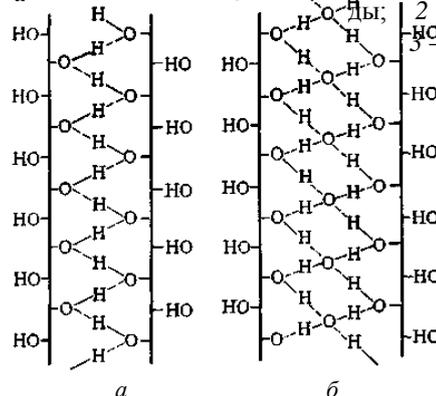


Рис. 4. Схема мостиковых связей между параллельными целлюлозными цепями: а – цепи, соединенные боковой связью через водородные мостики в сухих волокнах; б – цепи, соединенные молекулами воды через водные мостики во влажном волокне

образованным внешними поверхностями волокон.

Однако скорость пропитки бумаги жидкостью зависит не только от размеров внутренних влагопроводящих путей и степени их смачивания, но и от других факторов. В первую очередь следует отметить величину поверхности соприкосновения волокон между собой, с увеличением которой облегчается переход влаги от одного волокна к другому, а также степень гидрофобности поверхности волокон, с повышением которой повышаются антикапиллярные свойства межволоконных пространств.

В неклееной или в слабосклееной бумаге, а также в случае применения смачивающей жидкости (например ПАВ) ее движение будет происходить как по межволоконным, так и по внутриволоконным путям. Скорость пропитки при этом будет определяться размером межволоконных пор.

Таким образом, продолжительность воздействия жидкости на бумагу в сочетании с начальной степенью гидрофобности поверхности межволоконных пор являются факторами, определяющими в клееной бумаге механизмы ее промокания и впитывающей способности. С точки зрения современных представлений о путях движения влаги при увлажнении поверхности бумаги отрицательное влияние каландрирования на степень ее проклейки может быть объяснено имеющим место уплотнением бумаги с установлением между волокнами более тесных контактов, способствующих усилению внутриволоконного прохождения влаги.

Из физики капиллярных явлений известно, что скорость прохождения жидкости через систему капилляров при гидростатическом давлении жидкости, равном нулю, определяется выражением

$$dl/dt = r\sigma\cos\theta/400\eta l,$$

где  $l$  – глубина проникновения жидкости, см;

$t$  – продолжительность проникновения жидкости, с;

$r$  – радиус капилляра, см;

$\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости, Н/м;

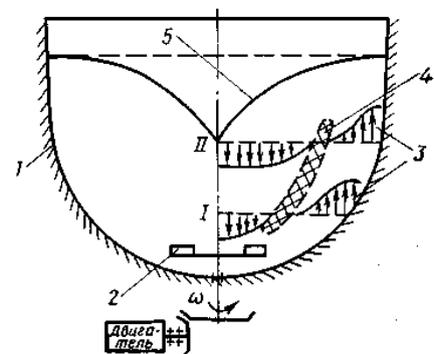
$\theta$  – краевой угол смачивания между жидкостью и твердым телом, град;

$\eta$  – вязкость жидкости, Па·с.

Использование этой формулы применительно к структуре бумажного листа допустимо лишь с известным приближением, так как формула выведена для системы с одинаковыми размерами капилляров.

#### *Гидродинамические условия при разволокнении макулатуры*

По О.А. Терентьеву [7], в работающем гидроразбивателе 1 (рис. 5) ротор 2 можно уподобить центробежному насосу (или винту), сообщаемой распускаемой массе энергию, которая заставляет жидкость в ванне двигаться по спиралеобразной траектории. У стенок ванны масса поднимается винтообразно вверх, а в центре по аналогичной траектории возвращается к



ротору, в результате чего на свободной поверхности массы 5 образуется воронка. Если на стенках ванны имеются вертикальные направляющие ребра, то воронка выражена сильнее за счет преобладания вертикальной составляющей скорости в потоке.

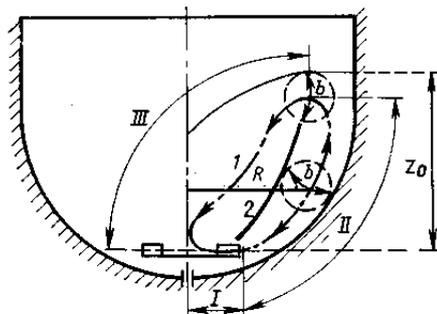
Экспериментальное зондирование потока в ванне гидроразбивателя [8] позволило получить структуру скоростей в меридиональной плоскости гидроразбивателя. На рис. 5, в сечениях I и II, представлены эпюры 3, характеризующие качественную сторону распределения скоростей. Между восходящим и нисходящим потоками наблюдается переходная (местная вихревая зона 4), характеризующаяся малыми и неустановившимися значениями скоростей. Эту зону можно уподобить твердой границе между потоками с той лишь разницей, что она должна постоянно претерпевать изменения в компонентах своей структуры: окружающие ее потоки постоянно выхватывают из зоны одни части массы, а на их место посылают другие. Таким образом, в ванне идет равномерный роспуск материала и в этой зоне не скапливается нераспустившийся материал. Предположение об образовании местной вихревой зоны, имитирующей жидкостную стенку, позволяет перейти к созданию конструктивной расчетной схемы для гидроразбивателя (рис. 5). Подводящая к ротору мощность расходуется на сообщение энергии движения жидкости в ванне и на роспуск материала.

Роспуск (разволокнение) макулатуры и движение массы необходимо рассматривать как две стороны одного процесса. При роспуске наиболее активными элементами являются ротор и направляющие ребра на корпусе ванны, т. е. органы, оказывающие механическое воздействие на распускаемую макулатуру. Однако эффективность их работы зависит от скорости движения массы, угла соударения макулатуры с лопастями ротора и направляющих ребер, а также от частоты повторяемости воздействия активных элементов на одни и те же частицы распускаемого материала. Последний фактор проявляется наиболее эффективно для процесса, когда циркуляция в ванне преобладает в вертикальной (или в меридиональной) плоскости, так как в этом случае уменьшается доля малополезной энергии на перемещение в горизонтальной плоскости. Однако здесь имеет место полезное воздействие на роспуск градиента скоростей в потоке, но можно предположить, что оно будет менее эффективным, чем от механического воздействия указанных выше элементов.

Анализируя сказанное можно сделать вывод о том, что эффективность работы гидроразбивателя зависит как от гидродинамики потока массы в его ванне, так и от разрывающей способности его активных механических элементов.

Предположив, что потери энергии, связанные с механическими воздействиями на распускаемый материал, можно привести к эквивалентным гидравлическим потерям, а мощность, потребляемую ротором, правомочно определять гидравлическим путем. Вычисления проводили на основе составления баланса энергии потока а

Рис. 5. Схема потока в меридиональной плоскости ванны гидроразбивателя



гидроразбивателе. Принимали, что поток в ванне образует замкнутый круг циркуляции, построение которого проводили на основе изложенного выше представления о физике процесса.

Предполагая наличие жидко- стной стенки 2, поток разбивается на три участка, образующих замкнутый круг циркуляции (рис. 6). Участок I – зона ротора. Здесь происходит, с одной стороны, роспуск материала путем его соударения с лопастями, с другой – поток получает энергию от ротора и начинает движение по кругу циркуляции. Участок II – зона восходящего потока (от выходных кромок лопастей ротора до верхней отметки  $Z_0$  свободного уровня жидкости в ванне). Этот участок может характеризоваться сильно развитой диффузностью. Здесь можно устанавливать направляющие устройства (ребра) для обеспечения ориентации потока на меридиональную плоскость, а также дополнительного механического воздействия на распускаемый материал. Участок характеризуется наибольшей первоначальной энергией потока, а также сильно развитыми диффузными гидравлическими потерями и потерями на удар, если установлены направляющие устройства (ребра). Участок III – зона нисходящего потока (от верхней отметки свободного уровня жидкости до входных кромок лопаток ротора). Здесь жидкость под действием остаточного напора, силы тяжести и засасывающего действия ротора устремляется снова к ротору, и круг циркуляции замыкается. На свободной поверхности образуется воронка.

Имеющиеся в литературе рекомендации по определению мощности, потребляемой ротором гидроразбивателя, сводятся к формуле [4]

$$N_p = \zeta \rho n^3 D^5,$$

где  $N_p$  – мощность на роторе, Вт;

$\zeta$  – опытный коэффициент;

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

$n$  – частота вращения ротора, с<sup>-1</sup>;

$D$  – наибольший диаметр расположения выходных кромок лопастей ротора, м.

Усилие разволокнения, применяемое в гидроразбивателе, должно быть достаточным для разрушения структуры листов макулатуры и отделения от них связанных примесей (например ламинированного слоя) без их разрушения. Крыльчатка (ротор), которая вращается с линейной скоростью 12...20 м/с (расчет для точки лопасти, максимально удаленной от центра ротора), обеспечивает наличие усилий, необходимых для превращения макулатуры в волокнистую массу. Следует отметить, что рост числа оборотов ротора приводит к увеличению (в кубической зависимости) потребляемой мощности. Кроме того, вследствие насосного эффекта, создаваемого крыльчаткой, возникают проблемы с освобождением гидроразбивателя.

Для обеспечения хорошей эффективности роспуска необходимо согласовать геометрические характеристики ванны гидроразбивателя, крыльчатки, ребер и линейную скорость. Диаметр отверстий сит в ванне гидро-

разбивателя определяют наличием или отсутствием в технологической схеме оборудования для эффективного дороспуска макулатуры. В зависимости от способности макулатуры к разволокнутию содержание лепестков в массе из гидроразбивателя колеблется от 15 до 40 %.

Получившие широкое распространение барабанные гидроразбиватели (окружая скорость 100...120 м/мин, диаметр от 2,5 до 4,0 м, длина до 30 м) используют для разволокнутия макулатуры с низкими значениями прочности во влажном состоянии. Их наиболее часто применяют для переработки старых газет и журналов с удалением печатной краски. Влажные компоненты смеси макулатуры не могут быть подвергнуты роспуску и поэтому попадают в отходы [10].

#### *Доволокнение*

Дисковые сортировки (турбосепараторы) являются аналогичными гидроразбивателям не только по геометрическим характеристикам, но и по гидродинамическим. Так как диск сортировки имеет меньшие отверстия и интенсивность приложения энергии является более высокой в этих относительно небольших по своим размерам машинах, то интенсивность доволокнутия в них выше, а использование энергии является более эффективным, чем в гидроразбивателях.

Для окончательного роспуска пучков волокон макулатуры или обратного брака после гидроразбивателя применяют оборудование, в котором осуществляется воздействие гидродинамических ударов на бумажную массу. К такому оборудованию относится энтштиппер с ротором, вращающимся с частотой до 3000 ... 4000 мин<sup>-1</sup>. Зазор между ротором и статором устанавливается постоянным (0,5 ... 2,0 мм).

В зависимости от размеров лепестков макулатуры, их концентрации и содержания грубодисперсных отходов в массе эффективность работы аппаратов на стадии дороспуска можно варьировать. В идеальном случае степень разволокнутия после них должна составлять, по меньшей мере, 95 %. Экономичным считается пропуск массы через энтштиппер от одного до четырех раз в зависимости от вида и назначения массы. Удельный расход энергии при этом составляет 25 ... 40 кВт.ч/т.

#### *Механизмы воздействия на вторичные волокна при размоле макулатурной массы*

А. Kriebel и R. Sigl [17] теоретически проанализировали возможное изменение свойств волокна на протяжении всего процесса приготовления макулатурной массы (рис. 7). Это воздействие может включать: укорочение волокон; внутреннее и внешнее фибриллирование волокнистой структуры, вызывающее их пластификацию; отщепление тонких частиц и увеличение способности к набуханию. Кроме укорочения волокна, вызывающего уменьшение прочности, все перечисленные на рисунке справа воздействия

(процессы) приводят к увеличению бумагообразующих свойств макулатурной массы.

*Процессы, происходящие при размоле*

Основное назначение размола – подготовка поверхности целлюлозных волокон для образования межволоконных связей в бумажном полотне.

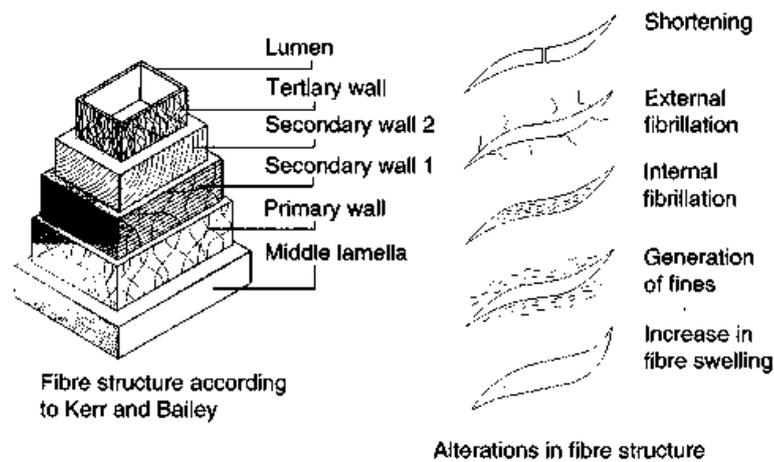


Рис. 7. Возможное воздействие на волокна в процессе приготовления массы (в левой колонке структура волокна, предложенная Kerr и Bailey, сверху вниз: люмен, третичный слой; вторичный слой 2, вторичный слой 1, первичный слой, срединная пластинка (ламелла); в правой колонке изменение структуры волокна, сверху вниз: укорочение, внешнее фибриллирование; внутреннее фибриллирование; образование мелких частиц; увеличение набухания волокна)

Установлено два вида явлений, одновременно протекающих при размоле: а) чисто механическое воздействие размалывающей гарнитуры на растительные волокна с изменением их формы и размеров; б) и коллоидно-химическое воздействие, проявляемое в виде так называемой гидратации волокон. Под термином «гидратация» понимают коллоидно-химические явления, начинающиеся с набухания гидрофильных растительных волокон (которое по мере ведения процесса размола увеличивается), сопровождаемые фибрилляцией их клеточных стенок и отщеплением тончайших фибрилл, а также увеличением вследствие этого наружной поверхности волокон при обнажении на этой поверхности групп  $\text{OH}^-$ , адсорбирующих воду [5]. При этом создаются условия, при которых волокна приобретают способность связываться между собой с образованием прочной структуры листа.

У неразмолотых волокон набухание их в поперечном направлении может достичь 20 ... 30 %, у размолотых – величины их удвоенного диаметра. При размоле волокон происходит как внешняя, так и внутренняя

фибрилляция. Внешняя фибрилляция сопровождается увеличением наружной поверхности волокон и ростом на ней числа гидроксильных групп, адсорбирующих воду. Удельная поверхность полностью набухших волокон примерно в 200 раз больше, чем сухих. При этом ослабляются сами волокна, облегчается доступ воды в межфибриллярные пространства. При внутренней фибрилляции волокон отщепления фибрилл не происходит, не уменьшается прочность самих волокон, наблюдается лишь повышение гибкости и пластичности волокон вследствие набухания гемицеллюлоз, находящихся в основном в межфибриллярных пространствах.

Очевидно, что силам поверхностного натяжения воды в капиллярах бумажного листа легче сдвинуть и сблизить между собой тонкие фибриллы, чем исходные нефибриллированные волокна. Этим в первую очередь и объясняется повышенная усадка и плотная структура бумаги, состоящей из фибриллированных волокон.

Таким образом, фибриллирование волокон в процессе их размола представляется важным не только для того, чтобы содействовать лучшему механическому переплетению между собой волокон или фибрилл, но и для создания под влиянием сил поверхностного натяжения более сомкнутого, а следовательно, и более прочного листа. При этом нужно иметь в виду, что благодаря фибриллированию увеличивается развернутая поверхность волокон, на которой появляются ранее скрытые в толще гидроксильные группы. Именно по этим группам и осуществляются водородные связи между волокнами. В результате фибриллирования увеличивается число контактов между волокнами, что способствует упрочнению бумажного полотна.

Размолотая масса характеризуется большей степенью внутреннего расслоения, чем не размолотая, причем это расслоение исчезает в процессе сушки и не восстанавливается при последующем роспуске.

### ***Факторы процесса***

#### *Влияние температуры*

Как известно, процессы набухания и гидратации целлюлозных волокон экзотермичны, т. е. сопровождаются выделением тепла [5]. Таким образом, с понижением температуры способность волокон связывать воду и набухать в ней увеличивается. Практика показывает, что процесс размола легче и быстрее протекает в более холодной воде зимой, чем летом. В таких условиях волокна легче фибриллируются, что положительно сказывается на прочности изготавливаемой бумаги. Если процесс размола осуществляют при повышенной температуре, то вследствие недостаточного набухания волокон они не приобретают нужной гибкости, слабо фибриллируются и относительно легко рубятся в поперечном направлении. Бумага, полученная из таких волокон, обладает пористостью и невысокой механической прочностью.

Нет никакого противоречия и в том, что при размоле лиственной и

хвойной полуцеллюлозы, а также отходов тонкого сортирования древесной массы подогрев этих материалов полезен и приводит к повышению механической прочности размолотой массы и снижению расхода электроэнергии на размол. Облегчающее размол пластифицирующее действие лигнина и гемицеллюлоз при повышенной температуре превалирует над снижением набухания целлюлозного компонента волокон [9].

#### *Влияние гидродинамических условий*

Гидродинамические воздействия выражаются, прежде всего, в ударах волокнистой суспензии о размалывающие органы и стенки размалывающего аппарата. Эти удары дополняют механические воздействия на волокна. Одновременно при этом имеет место трение волокон друг о друга и трение их о размалывающие органы и стенки размалывающей аппаратуры.

Повышение окружной скорости роторного диска связано с увеличением эффекта фибриллирования волокон и уменьшением их укорачивания при некотором возрастании общего расхода энергии на размол и снижении коэффициента полезного действия размалывающего аппарата. Вместе с тем повышение окружной скорости ротора с одновременным увеличением концентрации массы способствует лучшей ее циркуляции, набуханию волокон, приданию им гибкости и пластичности, усилению межволоконных сил связи в готовой бумаге.

При наличии узких ножей можно разместить их на размалывающей гарнитуре в большем количестве. Увеличение числа ножей у гарнитуры приводит к повышению эффективности работы размалывающих аппаратов и способствует усилению расчесывающих воздействий ножей гарнитуры на волокна целлюлозы. Установлено, что в размалывающих аппаратах, оснащенных гарнитурой с сравнительно узкими ножами, можно получить жирную длинноволокнистую массу при условии применения умеренного удельного давления и не очень сильно разбавленной массы.

#### *Особенности размола макулатурной массы*

Вторичные волокна механической массы имеют свой потенциал связеобразования, который можно увеличить. В частности, толщина стенки клетки длинной фракции волокна уменьшается при рафинирующем размоле массы, проводимом при высокой концентрации. Вероятно, часть фибрилл освобождается от внешнего слоя стенки клетки волокна [16, 17, 20]. Этот эффект наблюдается больше в уплотненных слоях волокон поздней древесины, чем в более рыхлой ранней древесине.

Макулатура, поступающая на бумажную фабрику после разволокнения в гидроразбивателе, представляет собой суспензию, состоящую из волокон различной длины. Размол такой массы, неоднородной по длине волокон и их составу, неизбежно связан с известным и ненужным укорочением и без того коротковолокнистой фракции, что может отрицательным образом сказаться на свойствах изготавливаемой бумаги. Поэтому предпочитают вести процесс размола весьма осторожно при сравнительно малом удельном дав-

лении, что, в свою очередь, может привести к отрицательным явлениям: недостаточной разработке длинноволокнистой фракции с увеличением продолжительности размола и повышением расхода энергии на этот процесс. При этом не исключено нежелательное укорочение коротких волокон. Эти соображения привели ранее к логическому выводу о целесообразности раздельного размола различных фракций [16].

Не выяснена польза отдельного размола длинноволокнистой фракции макулатуры, подвергнутой обесцвечиванию [23]. Отдельная обработка длинноволокнистой фракции волокна потребовала больше энергии, а прочностные показатели незначительно отличались от таковых у листа из массы размолотой без фракционирования.

#### *Выводы*

1. Из процессов бумажного производства особенно сильное влияние на свойства волокон оказывает сушка, в результате которой происходят некоторые необратимые изменения свойств волокон. Изменения свойств связаны с явлением "необратимого ороговения", косвенно выражающегося в уменьшении способности волокон к набуханию в процессе размола и выдерживания макулатурной массы перед подачей на БДМ. Физическую природу происходящих при сушке необратимых изменений свойств волокон связывают с тем, что вначале при сушке сжимаются внутренний канал (люмен) и поры волокон. Трубочатая форма волокон переходит в ленточную, десорбируется вода из стенок волокон, что особенно сказывается на необратимости свойств высушенных растительных волокон.

2. Необратимое ороговение волокон начинается при концентрации массы 30 ... 35 % и продолжается до 70...80 % в зависимости от степени помола. Ороговение непосредственно не следует за усадкой, так как самая большая усадка волокон происходит при сухости выше 80 %.

3. Щелочная обработка вносит вклад в набухание волокон вследствие реакций ионного обмена под действием осмотического давления. Существенным фактором, влияющим на скорость диффузии реагентов внутрь волокна, а следовательно, и на набухание целлюлозы, является величина внутренней поверхности целлюлозного волокна, определяемая размерами имеющихся в нем капилляров (пор), их распределением в волокне, изменением размеров капилляров в результате различных обработок целлюлозы.

4. В отличие от химической целлюлозы более слабая механическая масса не только не ухудшает, но даже несколько улучшает свой потенциал связеобразования в процессе 1–6 циклов переработки. Главная характеристика "более умеренного" ороговения в механических волокнах, описанного выше, заключается в их способности сохранять способность удерживать воду (вследствие сохранения гемицеллюлозолигнинного геля) после высушивания.

5. На способность массы к регенерации в основном влияют такие технологические процессы, как размол, мокрое прессование, сушка и калан-

дрирование, причем, чем "жестче" обработка, тем в большей степени снижаются свойства перерабатываемой бумаги.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горшков И.В.* Физическая химия: пособие для студентов биолог. фак-та МГУ / И.В. Горшков. – М.: Изд-во МГУ, 1975. – 215 с.
2. *Гулько Л. П.* Влияние каландрирования на пористую структуру бумаги / Л. П. Гулько [и др.] // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. – 1990. – № 4. – С. 27–28.
3. *Комаров В.И.* Механика деформирования целлюлозных тароупаковочных материалов: учеб. пособие / В.И. Комаров, А.В. Гурьев, В.П. Елькин. – Архангельск, 2002. – 172 с.
4. *Корда И.* Размол бумажной массы / И. Корда, З. Либнар, П. Прокоп. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 330 с.
5. *Писаренко А.П.* Курс коллоидной химии / А.П. Писаренко, К.А. Поспелова., А.Г. Яковлев. – М.: Высш. шк., 1961. – 158 с.
6. *Роговин З.А.* Химия целлюлозы / З.А. Роговин – М.: Химия, 1972. – 520 с.
7. *Терентьев О.А.* Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве / О.А. Терентьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 248 с.
8. *Терентьев О.А.* Расчет структуры скоростей в ванне гидроразбивателя / О.А. Терентьев, О.К. Федоров, А.А. Гаузе // Машины и оборудование ЦБП: межвуз. сб. – 1974. – Вып.1.
9. *Фляте Д.М.* Свойства бумаги / Д.М. Фляте – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 648 с.
10. *Яблочкин Н.И.* Макулатура в технологии картона / Н.И. Яблочкин, В.И. Комаров, И.Н. Ковернинский. – Архангельск, 2004. – 252 с.
11. Смачиватель – пассиватор СЛ-98. Технические условия ТУ 2483-002-58053283–2003.
12. *Carlson G.* Svensk Paperstidn / G. Carlson. – 1984. – 87 (15): R119.
13. *Hovard R.C.* The effect of recycling on paper quality / R.C. Hovard // Journal of Pulp & Paper. – 00001990, T.16, N 5. – P. 143–149.
14. *Howard R.C.* // Paper Technology. – 1991. – 32 (4): 20.
15. *Katz S.* [et al.] // Tappi J. – 1981. – 64 (7): 97.
16. *Koljonen T.* Characterization of refining effects on deinked pulp: 6th PTS-Deinking-Symposium. / T. Koljonen, A. Heikkurinen // Papier-technische Stiftung. – Munich, 1994. – 43 p.
17. *Kriebel A.* Влияние дискового и смесительного диспергаторов на свойства макулатурного волокна / A. Kriebel, R. Sigl // Voith Sulzer Stoffaufbereitung GmbH & Co. – Germany: Ravensburg. – KG, P.O. Box 2120, D-88191.
18. *Lame J. Stenius P.* // Paper – Puu. – 1997. – 79 (4): 257.
19. *Maloney T.C.* [et al.] // Nordic Pulp Paper Res. J. – 1998. – 13 (4): 285.
20. *Mohlin U.B.* // J. Pulp Paper Sci. – 1997. – 23(1):J28.
21. *Scallan A.* Elasticity of fiber wall; effects of pulping and recycling: 1st Research Forum on Recycling, CPPA / A. Scallan, A.C. Tigerstrom. – Montreal, 1991. – P.149.
22. *Sturmer L., Gottsching L.* // Wochenbl. Papierfabr. – 1979. – 107 (3): 69.
23. *Waterhouse J.F.* Products of Papermaking: Fundamental Research Symposium, PIRA / J.F. Waterhouse, K. Omori. – Leatherhead, UK, 1993. – 1261 p.
24. *Weise U.* // Paperi Puu. – 1998. – 80 (2):110.
25. *Weise U.* Das Papier 50 / U. Weise, H. Paulapuro. – 1996. – 26.(6): 328.
26. *Jang H.F.* [et al.] // Tappi J. – 1995. – 78 (12):131.

ОАО «Полотняно-заводская бумажная фабрика»  
Укр НИИБ

Поступила 9.02.05

---

*D.A. Dulkan, L.A. Yuzhaninova, V.G. Mironova, V.A. Spiridonov*

**Scientific Basis of Waste Paper Treatment**

Theoretical analysis of the influence of treatment processes on paper-forming properties of fibers resulting in some irreversible physicochemical changes is provided. It is found out that such processing operations as milling, wet pressing, drying and calendaring exert influence on the waste paper ability to regenerate.

---

УДК 676.2.036

***В.К. Дубовый, Я.В. Казаков***

Казаков Яков Владимирович родился в 1966 г., окончил в 1990 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 научных трудов в области деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БУМАГОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН**

Сопоставлены деформационные характеристики листовых материалов из минеральных волокон, изготовленных при использовании 20...80 % минерального связующего. Показано, что введение связующего не только повышает значения деформационных и прочностных характеристик, но и влияет на характер деформирования листового материала при растяжении; установлено, что материал становится более прочным и более жестким, при этом снижается его растяжимость.

*Ключевые слова:* минеральные волокна, связующее, стекловолокно, каолин, базальт, деформация, прочность.

Материалы из минеральных волокон, изготовленные традиционным бумагоделательным способом, используют в качестве фильтровальных, тепло- и шумоизоляционных материалов, для работы при повышенной температуре, в кислых и щелочных средах. Однако, в отличие от целлюлозных материалов, они не обладают способностью к образованию достаточно прочных межволоконных связей, их механическая прочность невелика. Поэтому при разработке технологии бумагоподобных материалов из минеральных волокон используют различные упрочняющие добавки, в частности соединения алюминия. Теоретические представления о механизме упрочняющего действия соединений алюминия в целлюлозных материалах позволяют предположить, что аналогичные механизмы вполне работоспособны и для некоторых видов минеральных волокон. Как таковой, сульфат алюминия связующим не является, а упрочняющее действие проявляют продукты, образующиеся в результате его гидролиза и активного регулирования pH с помощью щелочи. Можно предположить, что полиядерные ацидокомплексы алюминия способны вовлекать в свою структуру различные анионы, в том числе и гидроксилы, расположенные на поверхности минеральных волокон.

Испытания проведены на образцах стеклянных волокон с диаметром 0,2 и 0,7 мкм, а также каолиновых и базальтовых волокон. Масса отливок составляла 25 и 50 г/м<sup>2</sup>. Расход связующего (сульфат алюминия в пересчете на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) составлял 20, 40, 60 и 80 %. Отлив осуществляли при pH 7,0...7,5. Результаты эксперимента представлены в таблице.

**Результаты механических испытаний отливок из стеклянных, каолиновых и базальтовых волокон с различным количеством связующего**

Расход связующего, %	$\delta$ , мм	$F_{\max}$ , Н	$\Delta l$	$\Delta l_{F_{\max}}$	$\varepsilon$	$\varepsilon_{F_{\max}}$	$\sigma_{\max}$ , кПа	$E_1$ , МПа	$A_{\text{общ}}$	$A_{\text{нагр}}$	$A_{\text{разгр}}$	$TEA_{\text{общ}}$	$TEA_{\text{нагр}}$	$TEA_{\text{разгр}}$
			мм						мДж			Дж/м <sup>2</sup>		
Стекловолокно диаметром 0,2 мкм														
0	102	0,413	1,699	0,342	0,085	0,017	0,107	8,36	0,347	0,077	0,271	434	110	338
	193	0,659	2,166	0,945	0,108	0,047	0,088	3,89	0,899	0,402	0,496	1124	503	620
20	104	3,363	1,139	0,569	0,057	0,028	0,813	61,6	2,122	1,053	1,069	2652	1316	1337
	228	8,391	0,809	0,243	0,040	0,012	0,939	167,8	4,211	1,494	2,717	5263	1867	3396
40	111	4,752	0,559	0,196	0,028	0,010	1,100	208,2	1,481	0,538	0,943	1851	673	1179
	220	9,988	0,577	0,231	0,029	0,012	1,160	265,1	3,202	1,537	1,665	4003	1922	2081
60	172	3,792	0,533	0,187	0,027	0,009	0,559	85,3	1,009	0,403	0,607	1262	504	758
	211	9,304	0,707	0,354	0,035	0,018	1,107	111,6	3,076	1,455	1,620	3844	1819	2025
80	95	5,114	0,614	0,276	0,031	0,014	1,355	173,2	1,391	0,622	0,769	1739	777	962
	206	11,86	0,651	0,293	0,033	0,015	1,484	159,8	3,649	1,572	2,078	4562	1964	2597
Стекловолокно диаметром 0,7 мкм														
0	109	0,163	2,445	0,519	0,122	0,026	0,040	2,03	0,251	0,071	0,180	314	89	225
	208	0,369	2,840	0,934	0,142	0,047	0,045	1,84	0,666	0,259	0,407	832	324	508
20	81	0,192	1,824	0,274	0,091	0,014	0,061	1,82	0,229	0,049	0,181	287	61	226
	179	0,976	2,046	0,716	0,102	0,036	0,138	7,12	1,130	0,335	0,795	1413	419	993
40	107	0,234	1,526	0,382	0,076	0,019	0,055	4,24	0,233	0,070	0,163	291	87	203
	255	1,885	1,575	0,551	0,079	0,028	0,193	15,37	1,645	0,525	1,120	2056	656	1400
60	86	2,034	0,775	0,194	0,039	0,010	0,621	110,9	0,804	0,171	0,633	1004	213	791
	164	6,505	0,734	0,183	0,037	0,009	1,062	214,8	2,477	0,508	1,969	3097	635	2462
80	91	1,659	1,084	0,325	0,054	0,016	0,503	48,8	1,021	0,292	0,729	1276	365	911
	171	6,606	0,814	0,285	0,041	0,014	0,993	118,3	2,773	0,918	1,856	3466	1147	2320
Каолиновое волокно диаметром 1,9 мкм														
0	180	0,048	2,786	0,279	0,139	0,014	0,007	0,27	0,093	0,009	0,084	116	11	104
	191	0,081	2,408	0,450	0,120	0,023	0,012	0,74	0,119	0,049	0,071	149	61	88
20	189	0,126	1,376	0,344	0,069	0,017	0,017	1,32	0,089	0,028	0,060	111	35	75
	229	0,729	1,022	0,306	0,051	0,015	0,081	8,65	0,446	0,135	0,311	557	169	388



Окончание табл.

Расход связующего, %	$\delta$ , мм	$F_{\max}$ , Н	$\Delta l$ , мм		$\varepsilon$	$\varepsilon_{F_{\max}}$	$\sigma_{\max}$ , кПа	$E_1$ , МПа	$A_{\text{общ}}$	$A_{\text{нагр}}$	$A_{\text{разгр}}$	$TEA_{\text{общ}}$	$TEA_{\text{нагр}}$	$TEA_{\text{разгр}}$
			$\Delta l$	$\Delta l_{F_{\max}}$										
40	188	0,161	1,216	0,304	0,061	0,015	0,023	2,34	0,113	0,033	0,080	142	41	101
	197	0,955	0,769	0,269	0,038	0,013	0,123	22,93	0,380	0,128	0,252	475	160	315
60	215	0,135	1,807	0,090	0,090	0,005	0,016	0,90	0,111	0,011	0,101	139	13	126
	254	0,600	1,062	0,372	0,053	0,019	0,060	6,96	0,336	0,110	0,226	420	137	283
80	139	0,148	0,997	0,100	0,050	0,005	0,029	2,35	0,091	0,012	0,079	114	15	99
	256	3,002	0,776	0,311	0,039	0,016	0,313	29,65	1,303	0,525	0,779	1629	656	973
Базальтовое волокно диаметром 1,1 мкм														
0	115	0,701	1,222	0,391	0,061	0,020	0,171	18,95	0,437	0,120	0,317	547	150	397
	172	0,492	2,242	0,853	0,112	0,043	0,073	3,63	0,603	0,227	0,376	753	283	470
20	123	2,023	0,751	0,338	0,038	0,017	0,302	30,39	0,780	0,327	0,453	974	409	565
	171	4,130	0,789	0,237	0,039	0,012	0,612	75,89	1,714	0,519	1,195	2142	649	1493
40	91	6,740	0,553	0,221	0,028	0,011	1,911	348,54	1,604	0,666	0,938	2005	833	1172
	155	13,513	0,570	0,199	0,028	0,010	2,291	334,18	2,837	1,170	1,667	3546	1462	2084
60	121	9,219	0,477	0,191	0,024	0,010	2,109	361,36	2,208	0,816	1,392	2760	1020	1740
	261	15,079	0,534	0,213	0,027	0,011	1,495	241,08	3,218	1,579	1,639	4022	1974	2048
80	92	4,587	0,517	0,181	0,026	0,009	1,320	228,03	0,993	0,356	0,637	1241	445	796
	128	12,061	0,479	0,192	0,024	0,010	2,891	435,80	2,760	1,077	1,683	3450	1346	2104

Примечание. 1.  $\delta$  – толщина образца, мкм;  $F$  – нагрузка, Н;  $\Delta l$  – удлинение до разрыва, мм;  $\Delta l_{F_{\max}}$  – удлинение до максимальной нагрузки, мм;  $\varepsilon$  – деформация разрыва, %;  $\varepsilon_{F_{\max}}$  – деформация при максимальной нагрузке, %;  $\sigma$  – напряжение, МПа;  $E_1$  – начальный модуль упругости, МПа;  $A_{\text{общ}}$  – общая работа разрыва, мДж;  $A_{\text{нагр}}$  – работа до максимальной нагрузки, мДж;  $A_{\text{разгр}}$  – работа после максимальной нагрузки, мДж;  $TEA_{\text{общ}}$  – общая энергия, поглощаемая при растяжении, Дж/м<sup>2</sup>;  $TEA_{\text{нагр}}$  – энергия, поглощаемая до максимальной нагрузки, Дж/м<sup>2</sup>;  $TEA_{\text{разгр}}$  – энергия, поглощаемая после максимальной нагрузки, Дж/м<sup>2</sup>. 2. В числителе приведены данные для отливок массой 25 г/м<sup>2</sup>, в знаменателе – 50 г/м<sup>2</sup>.

Введение связующего не только улучшает деформационные и прочностные характеристики, но и влияет на характер деформирования листового материала при растяжении. На рис. 1, 2 представлены кривые зависимости напряжение–деформация для образцов из минеральных волокон с различным количеством связующего. Обнаружено, что материал становится не только более прочным, но и более жестким, что сопровождается снижением его растяжимости – максимум на кривых сдвигается к началу оси деформации.

При растяжении волокнистого материала со связующим рост жесткости структуры и ее реакцию на приложение нагрузки обеспечивают межволоконные силы связи. Это четко прослеживается на кривых напряжение–деформация: более крутой участок на ветви нагружения соответствует образцам с большим количеством связующего. У большинства образцов кривые после достижения точки максимума похожи по длине и наклону и ха-

характеризуют сопротивление волокон растаскиванию в условиях разрушенных межволоконных контактов.

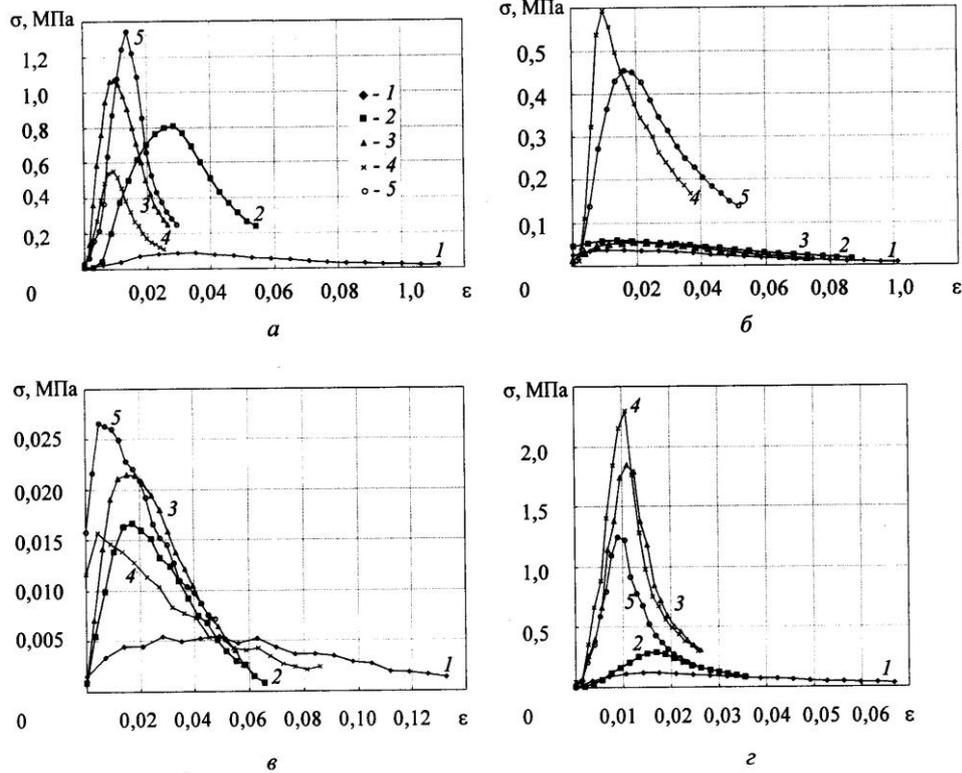


Рис. 1. Зависимость напряжение–деформация для образцов листовых материалов из минеральных волокон массой  $25 \text{ г/м}^2$  с различным количеством связующего: 1 – 0 %; 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60; 5 – 80 %; а – стекловолокно 0,2 мкм; б – стекловолокно 0,7 мкм; в – каолин; г – базальт

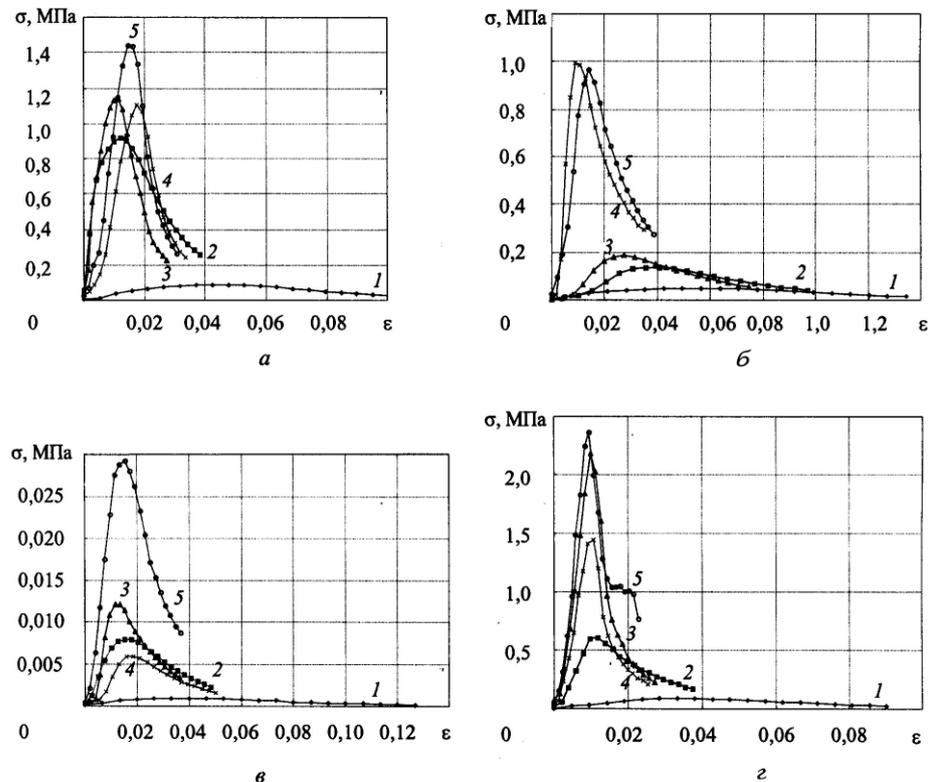


Рис. 2. Зависимость напряжение–деформация для образцов листовых материалов из минеральных волокон массой  $50 \text{ г/м}^2$  с различным количеством связующего (см. обозначения на рис. 1)

Упрочняющий эффект от введения связующего для различных материалов проявляется в различной степени. Так, для отливок массой  $25 \text{ г/м}^2$  из стекловолкна диаметром  $0,2 \text{ мкм}$  упрочняющее действие проявляется уже при добавке  $20 \%$  связующего, а отливкам из стекловолкна диаметром  $0,7 \text{ мкм}$  для достижения сопоставимого эффекта требуется введение по крайней мере  $60 \%$  связующего. Для материалов одной природы это может быть связано с различной площадью контактов волокон (у образцов одинаковой массы из более тонких волокон она больше), на которой за счет введения связующего формируются межволоконные связи.

Результаты испытаний образцов с увеличенной до  $50 \text{ г/м}^2$  массой отливок подтвердили тенденцию, обнаруженную на тонких образцах массой  $25 \text{ г/м}^2$ . Только были получены более четкие зависимости, поскольку на свойства материала в меньшей степени сказывались локальные колебания массы при общей более высокой абсолютной прочности листов.

Природа минерального материала также влияет на характеристики деформативности и прочности образцов, изготовленных с применением связующего. Так, даже при использовании связующего материал из каолино-

вых волокон остается весьма слабым. Прочность образцов возрастает в ряду: каолин, стекловолокно диаметром 0,7 мкм, стекловолокно диаметром 0,2 мкм, базальтовое волокно.

*Выводы*

1. Введение сульфата алюминия не только повышает значения деформационных и прочностных характеристик, но и влияет на характер деформирования листового материала из минеральных волокон при растяжении, которое оценивается по кривым напряжение–деформация; материал становится более прочным и жестким, что сопровождается снижением его растяжимости.

2. Наилучшим комплексом свойств деформативности и прочности обладает листовая материал (масса 50 г/м<sup>2</sup>) из базальтовых и стеклянных (диаметр 0,2 мкм) волокон.

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия  
Архангельский государственный технический университет

*V.K. Dubovyj, Ya.V. Kazakov*

**Application of Aluminum Sulfate for Increasing Deformational Characteristics of Paper-like Materials of the Mineral Fibers**

Comparison of deformational characteristics of sheet materials made of mineral fibers manufactured by using 20...80 % mineral binding is carried out. Addition of binding is shown not only to increase the values of deformational and strengths characteristics but influence the deformation character of sheet material under tension. It is found that when material becomes stronger and stiffer its elasticity goes down.



УДК 630\*905.2

**М.А. Кравцова, Н.П. Чупров**

Кравцова Марина Анатольевна, родилась в 1979 г., окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесной таксации и лесоустройства АГТУ. Область научных интересов – изучение проблем неистощительного лесопользования.



Чупров Николай Прокопьевич родился в 1931 г., окончил в 1954 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией экономики и организации лесного хозяйства СевНИИЛХа, член-корреспондент РАЕН, заслуженный лесовод России. Имеет более 160 печатных работ в области экономики лесного хозяйства и лесной промышленности, лесопользования и лесной таксации.



## **ДИНАМИКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Показаны динамика и объем заготовки древесины в сопоставлении с расчетными лесосеками и объемом потребления древесины за период с 1961 г. по 2002 г. Приведены лесосырьевые балансы.

*Ключевые слова:* объем заготовки древесины, динамика потребления, балансы производства, расчетная лесосека.

Европейский Север – один из основных лесопромышленных районов России. Доля валовой продукции лесопромышленного комплекса в общем объеме промышленного производства Архангельской области до 1990 г. составляла 43...45 %. К настоящему времени она увеличилась до 55 %. Основой существования и развития лесопромышленного комплекса является наличие постоянной лесосырьевой базы.

Широкая промышленная эксплуатация лесов на Севере России началась в 30-е гг. XX столетия и постоянно увеличивалась вплоть до 1990 г. Далее будем считать, что в 1990 г. закончился период развития ЛПК в условиях административно-командной, централизованно планируемой

Таблица 1

Год	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	2000	2002
Объем заготовки, млн м <sup>3</sup>	23,5	25,5	23,8	25,4	22,7	23,3	21,2	8,8	10,1

Таблица 2

Год	1961	1965	1970	1975	1980	1985	1990	2002
Потребление, млн м <sup>3</sup>	18,8	21,1	22,0	24,0	23,0	22,9	22,0	13,5

экономики и будем называть этот период первым или «до 1990 г.». Сменивший его период перехода к рынку будем называть вторым, переходным, «после 1990 г.». На фоне указанных общеэкономических причин происходило истощение и качественное ухудшение сырьевой базы лесозаготовок. В результате объем заготовок древесины в Архангельской области в 2002 г. снизился в сравнении с 1975 г. на 15,3 млн м<sup>3</sup> (в 2,5 раза), а в сравнении с 1980 г. на 12,6 млн м<sup>3</sup> (в 2,3 раза) – табл. 1.

В зависимости от объема производства, имеющихся ресурсов заметно изменяется объем и структура потребления. В табл. 2 приведена динамика внутриобластного потребления древесины в период с 1961 г. по 2002 г. За 14 лет, с 1961 г. по 1975 г., потребление круглого леса росло быстрыми темпами и увеличилось в 1,3 раза, в основном за счет развития лесопильного и целлюлозно-бумажного производств. В последующий период, с 1975 г. до 1990 г., потребление круглого леса внутри области несколько сократилось в связи с уменьшением объема лесопиления. После 1990 г. в результате сокращения объема рубки, недостатка сырья и общего падения производства в области потребление круглого леса резко снизилось, в 2002 г. в 1,7 раза по сравнению с 1985 г.

Объем потребления древесины в большой мере зависит от объема ее заготовки. Практически за весь рассматриваемый период они были близки. При этом часть круглого леса вывозилась из области, но одновременно поступала сплавом и по железным дорогам из Республики Коми и Вологодской области.

В табл. 3 приведена динамика внутриобластного потребления древесины (круглый лес и отходы) на технологические цели за период с 1965 г. по 1985 г. Основными потребителями древесины на технологические цели в области являются: лесо- и шпалопиление, фанерное, древесно-плитное, целлюлозно-бумажное производства. Кроме того, круглый лес использовался на выработку рудничной стойки, ремонтно-строительные нужды, дровяная древесина на топливо; отходы лесозаготовок лесопиления и деревообработки – в целлюлозно-бумажном, древесно-плитном, гидролизном производствах и на топливо.

Таблица 3

Производство	Категория древесины	Фактический объем потребления по годам, млн м <sup>3</sup>				
		1965	1970	1975	1980	1985
Технологические нужды – всего	Деловая	14,0	13,8	14,5	17,9	17,6
	Дровяная	0,6	2,0	3,7	1,4	1,1
	Итого круглый лес	14,6	15,8	18,2	19,3	18,7
	Отходы лесопиления и деревообработки	0,8	1,8	3,4	2,7	3,2
	Отходы лесозаготовок	–	–	0,5	0,3	0,3
В том числе:						
а) лесопиление	Деловая	11,7	11,2	11,8	10,6	10,0
б) шпалопиление	«	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3
в) фанерное	«	–	–	0,1	0,1	0,2
г) древесно-плитное	Дровяная	0,04	0,09	0,1	0,1	0,1
	Отходы лесопиления и деревообработки	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
д) целлюлозно-бумажное	Деловая	1,8	1,9	2,1	6,8	6,8
	Технологическое сырье	0,5	1,9	3,5	1,3	0,7
	Итого круглый лес	2,3	3,8	5,6	8,1	7,5
	Отходы лесопиления и деревообработки	0,4	1,3	2,7	2,2	2,6
	Отходы лесозаготовок	–	–	0,5	0,2	0,3
е) гидролизное	Отходы лесопиления и деревообработки	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3
ж) прочие производства	Деловая	0,04	0,3	0,3	0,1	0,3
	Дровяная	0,07	0,05	0,1	–	–
	Итого круглый лес	0,11	0,35	0,4	0,1	0,3
Выработка рудничных стоек	Деловая	2,3	1,9	1,2	0,6	0,5
Капитальное строительство и ремонтно-эксплуатационные нужды	Деловая	0,7	0,7	0,9	0,6	0,9
	Дровяная и технологическое сырье	–	–	–	0,1	–
	Итого круглый лес	0,7	0,7	0,9	0,7	0,9
Топливо	Дровяная	3,6	3,7	3,7	2,4	2,8
	Отходы лесопиления и деревообработки	1,5	1,3	1,9	1,6	1,4
	Отходы лесозаготовок	–	–	–	0,2	0,1

Окончание табл. 3

Производство	Категория древесины	Фактический объем потребления по годам, млн м <sup>3</sup>				
		1965	1970	1975	1980	1985
Всего	Деловая	16,9	16,3	16,6	19,1	19,0
	Дровяная и технологическое сырье	4,2	5,7	7,4	3,9	3,9
	Итого круглый лес	21,1	22,0	24,0	23,0	22,9
	Отходы лесопиления и деревообработки	2,3	3,1	5,3	4,3	4,6
	Отходы лесозаготовок	–	–	0,5	0,5	0,4

Из приведенных данных видно, что динамика потребления круглого леса на технологические нужды совпадает с характером его потребления в целом. В 1965 г. на технологические цели было использовано 69 % всего потребленного в области круглого леса, в 1975 г. процент увеличился до 74, а к 1985 г. – до 81. На лесопиление, включая шпалопиление, в 1965 г. использовано 57 % круглого леса. В дальнейшем, в связи с недостатком пиловочного сырья, потребление его несколько уменьшилось и составило: в 1975 г. – 50, в 1985 г. – 45 %.

В целлюлозно-бумажном производстве использовали значительно меньше круглого леса. В 1965 г. его объем (деловая, дровяная древесина, технологическое сырье) составил 2,3 млн м<sup>3</sup> (11 % общего потребленного). В дальнейшем, в связи с ростом объема целлюлозно-бумажного производства, потребление круглого леса к 1975 г. увеличилось до 5,6 млн м<sup>3</sup> (23 % общего объема), а к 1985 г. – до 7,5 млн м<sup>3</sup> (33 %). В целлюлозно-бумажном производстве раньше использовалась в основном хвойная древесина, в последние годы, в связи с изменением технологии, в состав сырья включают до 50 % лиственной древесины. В других производствах объем и доля круглого леса относительно невелики: в выработке рудничных стоек 0,5...2,3 млн м<sup>3</sup> (2...11 %), в капитальном строительстве и ремонте 0,7...0,9 млн м<sup>3</sup> (3...4 %). На топливные нужды потреблялось 2,4...3,7 млн м<sup>3</sup> (16...17 %). Использование отходов лесопиления и деревообработки составило: на технологическую переработку 0,8...3,4, на топливо 1,3...1,9 млн м<sup>3</sup>; лесосечных отходов: на технологические цели 0,3...0,5 на топливо 0,1...0,2 млн м<sup>3</sup>.

Приведенный анализ показывает, что в течение всего рассматриваемого первого периода наибольший объем потребления круглого леса приходился на лесопильное производство (45...57 %). При этом почти всегда, особенно в последние годы периода, ощущался недостаток пиловочника, что привело к некоторому снижению объема лесопиления. В качестве пиловочного сырья использовалась в основном хвойная древесина. Производство лиственных пиломатериалов не превышало 5 % общего объема.

Эти данные говорят о том, что до сих пор ведущим сортиментом всегда был хвойный пиловочник. Нет сомнений в том, что и в перспективе он также будет наиболее дефицитным сортиментом. Поэтому лесоведам следует брать основное направление на выращивание хвойной пиловочной древесины по технической спелости. Сопутствующим сортиментом при этом будут хвойные балансы в достаточном количестве, поскольку в северных лесах, даже в возрасте технической спелости, очень высок процент мелкотоварной древесины. В связи с этим предлагаемое иногда снижение возрастов рубок главного пользования до возраста количественной спелости нецелесообразно, так как оно приведет в будущем к резкому уменьшению объема пиловочника и отрицательным последствиям для развития лесопильного производства.

Во второй период, в связи с общим падением производства в стране и области, потребление древесины резко снизилось. По данным администрации Архангельской области (табл. 4), в 2000 – 2002 гг. по круглому лесу оно составило в области в целом 14,3...14,4 млн м<sup>3</sup>, в том числе на технологические нужды 11,7...11,8 млн м<sup>3</sup>. Из них 7,4...7,6 млн м<sup>3</sup> (63 %) использовано в целлюлозно-бумажном производстве, объем которого остался на близком по сравнению с периодом до 1989 г. В лесопилении же было использовано лишь 4,1...4,2 млн м<sup>3</sup>, т. е. 35 % от объема всего круглого леса, потребленного на технологические цели, или в 2,5 раза меньше. В производстве фанеры использовано 0,14 млн м<sup>3</sup> лиственной древесины. На прочие нужды (капитальное строительство, сельское хозяйство, местное население и муниципальные потребности) потреблено 2,6 млн м<sup>3</sup> круглого леса.

В табл. 5 показаны структура и динамика балансов производства и распределения круглого леса в Архангельской области за период с 1970 г. по 2002 г. Из этих данных видно, что с учетом заготовки древесины в сельских лесхозах в первый период ресурсы круглого леса в 2,5 раза превышали современные. Они складывались не только из заготовленной в области древесины, но и ввоза значительного объема круглого леса – от 5,5 до 7,8 млн м<sup>3</sup> по годам. В ресурсы входил также значительный объем переходящих остатков древесины (4,9...7,5 млн м<sup>3</sup>). В распределении этих ресурсов, кроме внутриобластного потребления, большой объем древесины (6,2...7,5 млн м<sup>3</sup>) вывозился в другие области и на экспорт.

Таблица 4

Производство	Потребление круглого леса, млн м <sup>3</sup>	
	2000 г.	2002 г.
Лесопиление	4,1	4,2
Фанерное	0,1	0,1
Целлюлозно-бумажное	7,6	7,4
Итого на технологические цели	11,8	11,7
Прочие нужды	2,6	2,6
Всего	14,4	14,3

Таблица 5

Статья баланса	Объем по годам, млн м <sup>3</sup>			
	1970	1980	1985	2002
Ресурсы				
От рубок главного пользования в области	23,8	22,7	23,3	11,2
Ввоз из других областей	7,8	6,0	5,5	2,4
Переходящие остатки	7,5	5,5	4,9	0,8
Итого	39,0	34,2	33,7	14,4
Распределение				
Потребление внутри области	22,0	23,0	22,9	14,3
Вывоз в другие области и на экспорт	10,7	6,0	6,2	0,1
Переходящие остатки	6,4	5,2	4,6	-
Итого	39,1	34,2	33,7	14,4

В последние годы объем ввоза круглого леса из ряда областей уменьшился в 2-3 раза, экспорт осуществлялся также в очень небольшом объеме.

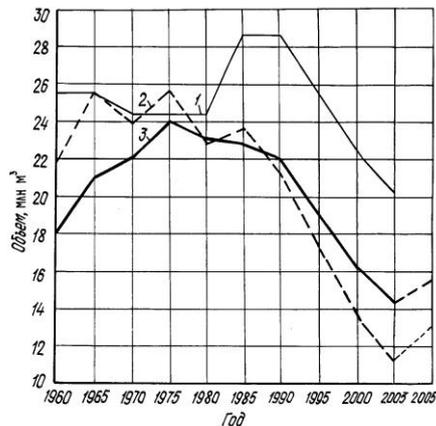
В соответствии с программой развития лесопромышленного комплекса, принятой администрацией Архангельской области, к 2005 г. намечено некоторое увеличение объема производства в сравнении 2002 г.: вывозки древесины – с 11,2 до 13,0 млн м<sup>3</sup>, пиломатериалов – с 1947 до 2500 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе экспортных – 1700 тыс. м<sup>3</sup>, целлюлозы по варке – с 1846 до 1900 тыс. т, фанеры клееной – 60 тыс. м<sup>3</sup>. В результате потребление круглого леса на технологические и другие цели может возрасти с 14,3 до 15,5...16,0 млн м<sup>3</sup>. Недостающую часть древесины придется завозить из других областей.

На рисунке для сравнения приведены объемы и динамика расчетных лесосек\*, объемов заготовки и внутриобластного потребления древесины. Эти данные показывают, что в период 1961–1970 гг. объем заготовки по главному пользованию был близок к утвержденной расчетной лесосеке, а к 1975 г. превысил ее на 1 млн м<sup>3</sup>. Начиная с 1980 г. объем заготовки начал снижаться, в 1990 г. стал ниже расчетной лесосеки на 7, к 2002 г. – на 9 млн м<sup>3</sup>.

Эти данные показывают, что фактическая рубка в основном не превышала установленной общей расчетной лесосеки, хотя в ряде лесхозов наблюдался переруб по хвойному хозяйству и лесосеки в целом. В период до 2000 г. расчетные лесосеки устанавливались завышенными, подгонялись

\* С учетом древостоев Va и Vб классов бонитета.

Диаграмма расчетных лесосек (1), заготовки (2) и потребления круглого леса (3) в Архангельской области



под потребность в древесине и не были направлены на неистощительное лесопользование, хотя симптомы истощения лесных ресурсов были налицо. После 2000 г., когда командного нажима сверху не стало, расчетная лесосека была снижена до 20,4 млн м<sup>3</sup>, что явилось важным шагом в упорядочении лесопользования в области. В сравнении с расчетной лесосекой неистощительного пользования, установленной СевНИИЛХом\*, она все еще ниже примерно на 2 млн м<sup>3</sup>.

Внутриобластное потребление круглого леса за весь рассматриваемый период было ниже утвержденной расчетной лесосеки, в 1960–1975 гг. – и объема лесозаготовок. В 1980–1985 гг. оно приблизилось к объему лесозаготовок, а в последние годы превзошло его, в 2002 г. на 3 млн м<sup>3</sup>. В перспективе к 2005 г. также намечается превышение потребности в древесине в сравнении с заготовкой на 2,5...3,0 млн м<sup>3</sup>.

В связи с далеко недостаточным использованием лесосырьевого потенциала лесов области во второй период (примерно на 7 млн м<sup>3</sup>) перед лесопромышленным комплексом стоит важнейшая задача максимального развития на всех стадиях.

Архангельский государственный  
технический университет  
СевНИИЛХ  
Поступила 28.05.04

*M.A. Kravtsova, N.P. Chuprov*

### **Dynamics of Wood Consumption and Forest Use in the Arkhangelsk Region**

Dynamics and volume of the harvested wood are shown in comparison with the planned cut and wood consumption volume over the period of 1961 – 2002. Wood-raw-material balances are provided.

\* Рекомендации по установлению размера неистощительного пользования лесом на Европейском Севере (Архангельская, Вологодская, Мурманская области, Республика Коми) / Н.П. Чупров, Е.Д. Антуфьева, Т.П. Ярунова, В.Б. Шунина. – Архангельск: СевНИИЛХ, 2000. – 33 с.

УДК 630\*624

**Ю.В. Кузминых, Р.Д. Алиг, О.Н. Кранкина, А.С. Йост**

Кузминых Юлия Валерьевна родилась в 1967 г., окончила в 1989 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 10 печатных работ в области экономики и организации лесного хозяйства и лесопользования.



Кранкина Ольга Николаевна окончила в 1980 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник департамента лесной науки Орегонского государственного университета США. Имеет более 30 печатных работ.



### **СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПО- ТЕНЦИАЛЬНОГО СТОКА УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ**

Рассмотрен потенциальный запас углерода в лесных экосистемах Ленинградской области и Западного Орегона в зависимости от сценариев развития лесозаготовительного производства в этих регионах.

*Ключевые слова:* лесной углеродный сертификат, баланс углерода, интенсивность лесопользования, социально-экономические факторы.

В сфере охраны окружающей среды в зарубежной практике, наряду с традиционными нормативно-правовыми и административными мерами, успешно применяются экономические инструменты природоохранной деятельности, среди которых большие перспективы имеет рынок торговли правами на загрязнение. Рыночные механизмы для решения экологических проблем на международном уровне впервые предусмотрены Киотским протоколом (1997 г.) [1] к Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Протокол закрепил количественные обязательства (квоты) участников конвенции по ограничению и снижению выбросов парниковых газов в атмосферу в целях приостановления глобального потепления климата. Согласно Киотскому протоколу часть обязательств по сокращению выбросов углекислого газа может быть зачтена как сток углерода в леса. Поэтому в классификации квот на выбросы выделяются «лесные» квоты. В настоящее время процесс ратификации Киотского протокола не закончен, однако уже сейчас осуществляется ряд добровольных программ с использованием рыночных подходов к снижению концентрации углерода в атмосфере. Программы носят как локальный, так и международный характер, в некоторых участвует лесной сектор разных стран [3].

Новая экологическая услуга, связанная с накоплением углерода лесами, может быть оформлена в виде лесного углеродного сертификата, который гарантирует покупателю поглощение определенного объема углерода из атмосферы и сохранение его запаса на протяжении оговоренного периода времени.

Объем предложения лесных углеродных сертификатов определяется величиной стока углерода в лесные экосистемы, затронутые хозяйственной деятельностью. Баланс углерода зависит как от интенсивности лесопользования, так и от проведения лесохозяйственных мероприятий, в первую очередь лесовосстановления и лесоразведения.

Объемы лесозаготовок и их территориальное размещение находятся под влиянием ряда социально-экономических факторов. К наиболее важным из них относятся действующее лесное законодательство и нормативно-правовые акты, содержащие требования к организации и проведению рубок и последующего лесовосстановления, исторические тенденции в лесопользовании и воспроизводстве лесных ресурсов, мощность и производительность лесозаготовительной техники и применяемые технологии, общеэкономическая ситуация в стране, состояние внутреннего и мирового лесного рынка и др.

Для того чтобы показать, как интенсивность лесозаготовок отразится на потенциальном стоке углерода, нами разработаны сценарии развития лесозаготовительного производства для условий Ленинградской области и тихоокеанского северо-запада США (Западный Орегон и Западный Вашингтон). Предложенные сценарии охватывают рубки главного пользования, предусматривают полное лесовосстановление и могут быть реализованы без нарушения лесоводственных требований.

В указанных районах существенно различаются история развития лесного сектора и его институциональная основа, лесное законодательство и лесная политика. Развитие лесозаготовительного производства в регионах зависит также и от общей экономической ситуации в странах, где находятся объекты исследования. Такой подход к выбору объектов позволяет рассмотреть большой спектр социально-экономических факторов, которые могут оказывать влияние на величину рубок и, как следствие, на формирование баланса углерода в лесных экосистемах.

Краткая характеристика объектов исследования представлена в таблице.

Для обоснования объемов лесопользования, которые могут быть положены в основу сценариев развития лесозаготовок и, следовательно, оказать влияние на потенциальный сток углерода в леса Ленинградской области, нами изучены динамика и структура лесозаготовительного производства за последние 20...40 лет и проведен анализ возможных причин изменений в объеме и структуре лесозаготовок. В качестве факторов, вызвавших эти изменения, нами рассмотрены лесоводственные требования, предъявляемые к организации и технологии лесосечных работ, размер и структура расчетной лесосеки, степень совершенствования техники и

Показатели	Тихоокеанский северо-запад США	Ленинградская область
Общая площадь, млн га	14,0	8,5
Покрытые лесом земли, млн га	10,9	4,7
Преобладающие лесорастительные условия	Хвойные леса умеренной зоны	Южная тайга
Запас на 1 га, м <sup>3</sup>	230	147
Объем лесозаготовок по главному пользованию (2001 г.), млн м <sup>3</sup>	28,8	4,2
В том числе в лесах:		
государственных (национальных)	2,1	4,2
частных	26,7	–

появление новых технологий лесозаготовок, состояние общеэкономической ситуации в стране и институциональных подходов к управлению как народным хозяйством в целом, так и лесным сектором и др.

Изложенное позволяет на основе современного состояния и структуры лесных ресурсов Ленинградской области и норм пользования (расчетной лесосеки на 2001 г.) сформулировать следующие сценарии развития лесозаготовительного производства на 50-летнюю перспективу:

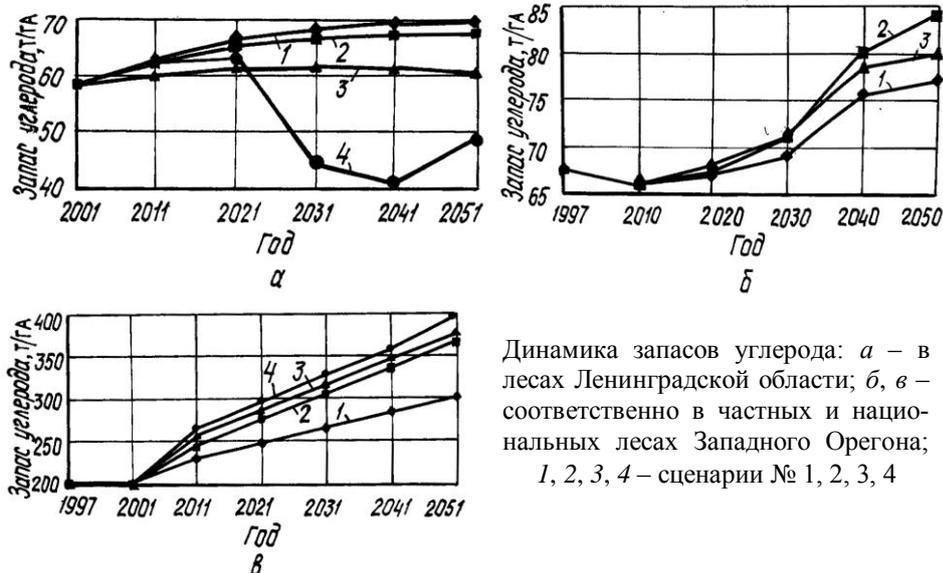
№ 1 – минимальный объем лесозаготовок на уровне 3,9 млн м<sup>3</sup> в год (экономический кризис 1993 г.);

№ 2 – средний (исторический) уровень лесозаготовительного производства за последние 30 лет (ежегодно 4,2 млн м<sup>3</sup>);

№ 3 – уровень лесозаготовок на уровне расчетной лесосеки, установленной на 2001 г., т. е. полное освоение нормы пользования в объеме 7,6 млн м<sup>3</sup> в год;

№ 4 – максимально возможный по лесоводственным требованиям объем лесозаготовок с установлением расчетной лесосеки для спелых и перестойных древостоев каждые 10 лет. Однако этот объем достигается постепенно: в первом десятилетии – на уровне 2001 г. (4,2 млн м<sup>3</sup>), во втором – увеличение до уровня современной лесосеки (7,6 млн м<sup>3</sup>), затем – изъятие всех спелых и перестойных древостоев. Объем лесозаготовок на период 2021–2031 гг. запроектирован на уровне 38,5 млн м<sup>3</sup> ежегодно, к концу периода объемы заготовки снижаются до 6,6 млн м<sup>3</sup> в год.

Для расчета запасов углерода на перспективу до 2051 г. по регионам и области в целом нами использована методика, разработанная в рамках международного проекта «Driving forces of change in regional carbon stocks: comparison of the Western Oregon (USA) and St. Petersburg region (Russia)» («Причины изменения в стоке углерода в регионе: сравнение Западного Орегона и С.-Петербургского региона») [2]. Для сопоставимости результатов нами приводятся удельные показатели запаса углерода на единице площади.



Результаты расчетов запасов углерода в лесных экосистемах Ленинградской области в целом представлены на рис. а.

Для условий тихоокеанского северо-запада США нами разработаны сценарии лесопользования с учетом исторических тенденций и изменений в лесной политике и лесном законодательстве. В отличие от Ленинградской области в Западной Орегоне леса находятся в разных формах собственности, что существенно влияет на объем лесозаготовок. В частных лесах, значительная доля которых принадлежит крупным лесопромышленным компаниям (индустриальные леса), осуществляются интенсивные коммерческие рубки. Объем пользования в национальных лесах регулируется государственным лесным законодательством. Поэтому расчет потенциальных запасов углерода произведен с учетом формы собственности на лесные земли. Была использована методика, разработанная и опробованная в Орегонском государственном университете (США) [4]. Результаты исследования представлены на рис. б и в.

Для частных лесов Западного Орегона нами рассмотрены следующие сценарии:

№ 1 – базовый уровень, определяемый историческими тенденциями и не предусматривающий изменений в лесной политике государства – Base case. Средний годовой объем рубок составляет 39,8 млн м<sup>3</sup>;

№ 2 – проектирование объемов лесозаготовок с учетом влияния импорта круглых лесоматериалов из Канады – Lower Canadian Harvest (39,1 млн м<sup>3</sup> в среднем в год);

№ 3 – сохранение современного уровня заготовки (38,4 млн м<sup>3</sup> в среднем в год) с увеличением площади лесных земель за счет лесоразведения на сельскохозяйственных землях – Increased Afforestation.

Для национальных лесов потенциальные запасы углерода нами рассчитаны по следующим сценариям:

№ 1 – максимальный объем лесозаготовок, предусмотренный планом-прогнозом развития лесопользования, составленным в 1989 г. – 16,1 млн м<sup>3</sup> в среднем в год;

№ 2 – объем лесозаготовок, предусмотренный планом-прогнозом развития лесопользования, составленным в 1993 г. – 3,0 млн м<sup>3</sup> в среднем в год;

№ 3 – базовый уровень, определяемый исторической динамикой объемов лесозаготовок – Base case – 2,0 млн м<sup>3</sup> в среднем в год;

№ 4 – прекращение коммерческих рубок в национальных лесах согласно государственной лесной политике – No National Forest Harvest.

Анализ полученных результатов по Ленинградской области и Западному Орегону позволяет сделать вывод об очевидной противоположной направленности двух процессов: увеличения объемов лесозаготовительного производства и поглощения углерода лесами в обоих регионах.

Потенциальный запас углерода на 1 га в лесах Ленинградской области и частных лесах Западного Орегона оказался практически одинаковым, несмотря на более высокую продуктивность лесов тихоокеанского северо-запада США. Полученный результат свидетельствует о том, что на изменение запаса углерода решающее влияние оказывает динамика лесопользования. При одинаковых лесорастительных условиях удельный запас углерода в национальных лесах Западного Орегона значительно выше, чем в частных, что объясняется более высокой интенсивностью лесопользования в последних.

Таким образом, социально-экономические факторы, влияющие на развитие лесного сектора и объемы лесозаготовок, оказывают непосредственное воздействие на динамику стока углерода. Через регулирование объемов лесозаготовительного производства можно управлять стоком и накоплением углерода в лесных экосистемах и, следовательно, формировать объем предложения лесных углеродных сертификатов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата: Протокол ООН от 11. 12. 1997 г. // База данных «Гарант», 2003. – 20 с.
2. Кобак К.И. Динамика запасов углерода в живой биомассе лесов Ленинградской области / К.И. Кобак, Р.Ф. Трейфельд, А.В. Грязькин // Динамика запасов углерода в лесах Северо-Запада: экология, экономика и политика: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. С.Е. Грязнова. – СПб.: СПбГЛТА, 2003. – С. 21–38.
3. Carbon sequestration on Idaho agriculture and forest land – 2003. [http://www.scc.state.id.us/PDF/Carbon % 20 Sequestration](http://www.scc.state.id.us/PDF/Carbon%20Sequestration).

---

4. *Turner D.R* A carbon budget for forests of the conterminous United States / D.R. Turner, G.J. Koerber, M.E. Harmon, J.J. Lee // *Ecol. Applic.*, 1995. – N 5. – P. 421–436.

С.-Петербургская лесотехническая академия  
Орегонский государственный университет

Поступила 17. 06. 04

*Yu.V. Kuzminykh, R.D. Alig, O.N. Krankina, A.S. Jost*  
**Social-economic Aspect of Potential Carbon Flow  
to Forest Ecosystems**

The potential carbon stock in the forest ecosystems of the Leningrad region and Western Oregon has been analyzed depending on the scenarios of forest harvesting development in these regions.

---



## КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 004.422:630

*А.Т. Гурьев, М.Е. Деменков*

Гурьев Александр Тимофеевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, проректор по информационным технологиям Архангельского государственного технического университета, директор Института информационных технологий АГТУ. Имеет более 50 работ в области исследования процессов лесного комплекса.



Деменков Максим Евгеньевич родился в 1974 г., окончил в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры вычислительных систем и телекоммуникаций АГТУ. Область научных интересов – интеграция информационных процессов.



### МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИНТЕГРАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ ЛЕСНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Разработан программный комплекс для интеграции и работы участников жизненного цикла изделий лесного машиностроения с общими базами данных.

*Ключевые слова:* ИПИ - технологии, PDM – системы, информационная интеграция, формат STEP, язык EXPRESS, технология CORBA, гетерогенная среда, интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР).

Современные тенденции развития машиностроения, в том числе и лесного, предполагают создание интегрированной информационной среды, обеспечивающей поддержку жизненного цикла изделий. Большое количество участников взаимодействующих процессов конструкторско-технологического проектирования, производства и эксплуатации продукции машиностроения определяют высокие требования к достоверности и согласованности данных, обеспечение которых может быть достигнуто за счёт использования общей модели интеграции процессов жизненного цикла изделий.

Целью публикации является определение способов и методов повышения эффективности лесозаготовительной техники за счет информационной интеграции процессов при ее проектировании, производстве и эксплуатации.

При проектировании машиностроительной продукции лесного комплекса в качестве исходных данных об изготовляемом изделии используют сведения, учитывающие условия его применения (природно-производственные условия эксплуатации, сезонность работ и т.д.). Эти сведения имеют условно-постоянный характер и зависят во многом от террито-

риального расположения предприятия-потребителя. На этап проектирования информация поступает либо за счет анализа прототипов и аналогичного оборудования, либо в процессе эксплуатации нового изделия при дальнейшей его модернизации.

Нами предлагается модель данных (рис. 1) для информационной поддержки процессов конструкторско-технологического проектирования, производства и эксплуатации на основе объектно-ориентированного подхода. В общем виде модель предметной области можно формализовать в виде

$$M = \{C, E\}, \quad (1)$$

где  $C$  – множество классов объектов,

$E$  – множество экземпляров объектов, принадлежащих классам  $C$ .

Если элементы множества остаются статичными  $C_0$ , то при использовании  $C = C_0$  модель приобретает универсальный вид.

Класс объектов  $c_k \in C$  модели данных представлен как набор характеристик:

$$c_k = \{q_k, A_k, R_k, M_k\}, \quad (2)$$

где  $q_k$  – уникальное имя класса;

$A_k$  – множество атрибутов класса,  $A_k = \{q_{ki}', T_{ki}', V_{ki}'\}$ ;

$q_{ki}'$  – множество имен атрибутов класса;

$T_{ki}'$  – множество типов атрибутов класса;

$V_{ki}'$  – множество значений атрибутов класса;

$R_k$  – множество связей между классами,  $R_k = \{q_{ki}'', T_{ki}'', V_{ki}''\}$ ;

$q_{ki}''$  – множество имен связей класса;

$T_{ki}''$  – множество типов связей класса;

$V_{ki}''$  – множество значений связей класса;

$M_k$  – множество связей между классами,  $M_k = \{q_{ki}''', PIN_{ki}', POUT_{ki}'\}$ ;

$q_{ki}'''$  – множество имен методов класса;

$PIN_{ki}'$  – множество входных параметров методов класса;

$POUT_{ki}'$  – множество выходных параметров методов класса.

В множества  $A_k, M_k$  могут входить как собственные атрибуты класса и методы, так и элементы соответствующих множеств других классов одной модели предметной области. Выявлено, что с классами объектов оперируют на этапах конструкторско-технологического проектирования, производители и потребители оперируют с экземплярами объектов (или объектами)  $e_i \in E$ . Каждое изделие может иметь несколько реальных воплощений, каждое из которых может отличаться от задуманного конструктором. Описание экземпляра изделия может содержать информацию о создании и использовании, включая сведения о проведенном техническом обслуживании и ремонте, и служить паспортом и формуляром изделия.

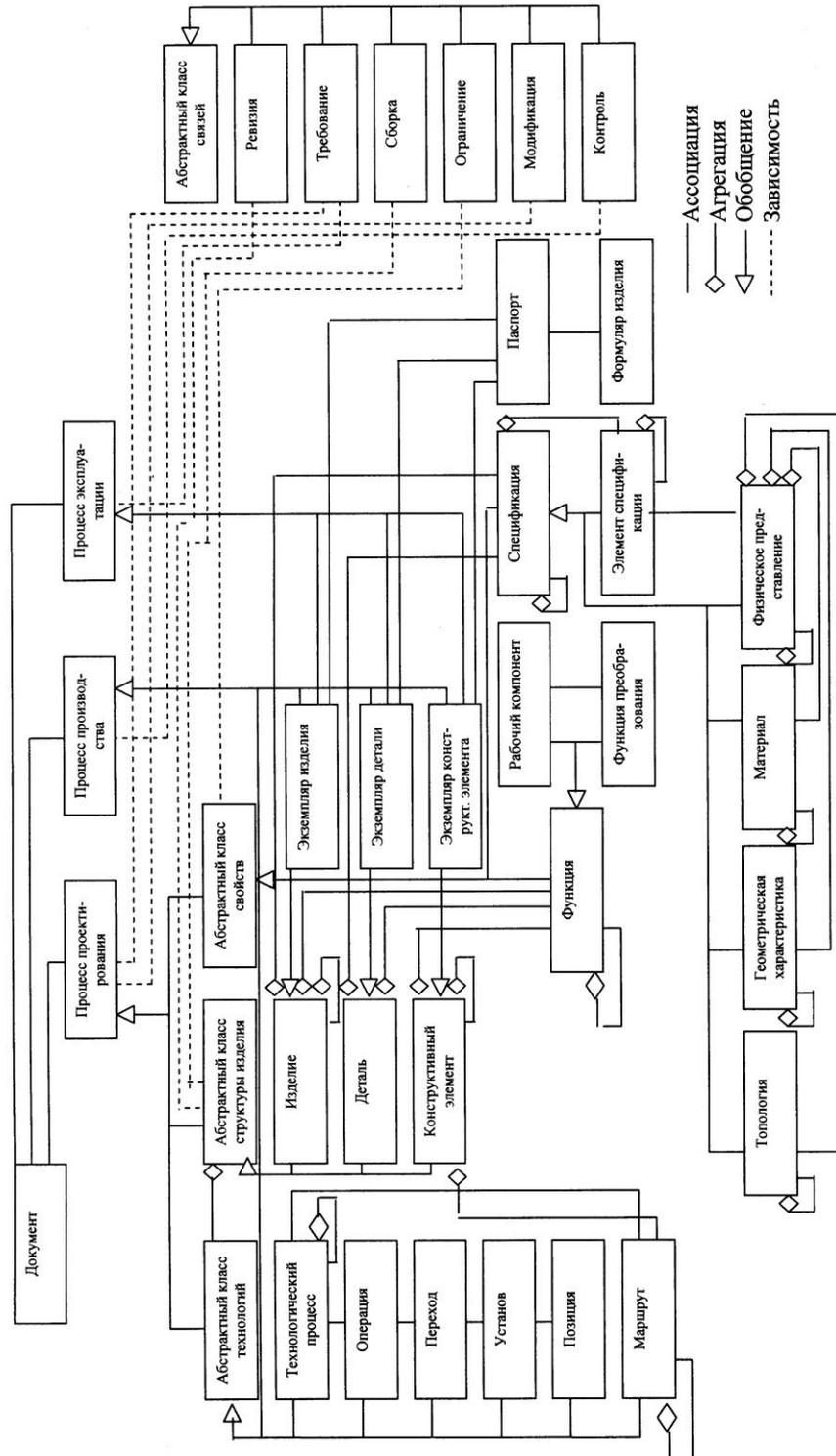


Рис.1. Интегрированная модель данных для представления информации об изделии

В процессе работы с экземплярами объектов определяются значения элементов множеств  $A_k$ ,  $M_k$  и создается множество экземпляров отношений классов  $R_k$ . Таким образом, каждый объект описывается следующим образом:

$$e_j = \{n_j, q_j, A_j, M_j, R_j\}, \quad (3)$$

где  $n_j$  – уникальный идентификатор (серийный номер).

На основе проведенного анализа выявлены классы объектов и объекты, входящие в состав предлагаемой модели данных об изделии. Модель данных обеспечивает: целостность данных, представление информации на различных уровнях абстракции, расширение иерархии классов, задание ограничений, различные представления данных. Данные об изделии объединяются в единое хранилище для дальнейшего использования. Это могут быть и отдельные базы данных, но с точки зрения удобства ведения и контроля информации их следует сосредоточить в одном месте.

В качестве современного средства использования ИПИ-технологий для интеграции процессов жизненного цикла изделий предприятий производителей и потребителей продукции лесного машиностроения применяют системы управления данными о изделии (PDM – Product Data Management). Их задачей является сбор в одном месте всей информации, создаваемой прикладными системами, и предоставление доступа к этой информации участникам жизненного цикла. Работа таких систем строится при использовании СУБД масштаба предприятия для накопления и применения данных на всех этапах жизненного цикла продукции. Сама же система представляет собой клиентское приложение, которое в понятном пользователю виде отображает информацию об изделии.

Процесс взаимодействия PDM-системы и прикладных систем строится на основе стандартных интерфейсов, которые можно разделить на четыре группы: функциональные стандарты – отслеживают организационную процедуру взаимодействия компьютерных систем (например IDEF0); информационные стандарты – предлагают модель данных, используемую всеми участниками жизненного цикла (ISO 10303 STEP); стандарты на программную архитектуру – задают архитектуру программных систем, необходимую для организации взаимодействия без участия человека (CORBA); коммуникационные стандарты – указывают способ физической передачи данных по локальным и глобальным сетям (Internet-стандарты).

На рис. 2 представлена концептуальная схема интегрированной информационной среды взаимодействия производителя и потребителя изделий лесного машиностроения.



Рис. 2. Схема интегрированной информационной среды

Использование Internet-технологий – наиболее перспективная форма совместной работы участников жизненного цикла изделий лесного машиностроения, разобщенных территориально. Как видно из рис. 2, такой способ позволяет организовать двустороннюю связь между производителем и потребителем продукции в виде ИЭТР (интерактивные электронные технические руководства) [1, 2] и WEB-сервисов, что повышает конкурентоспособность продукции за счет минимизации времени отклика на выпускаемые изделия. Использование данных в формате STEP позволяет обмениваться данными об изделии между производителем и производителями комплектующих изделий.

Прикладные программы в стандарте CORBA могут использовать данные, получаемые через Internet/Intranet в формате STEP.

Все данные в STEP представляются в текстовом формате на языке EXPRESS. Доступ к EXPRESS-данным может быть обеспечен за счет специальных методов доступа. Эти методы могут быть реализованы с помощью интерфейсов к существующим языкам программирования. Из EXPRESS-данных создаются интегрированные ресурсы, из которых складываются информационные модели предметных областей. STEP обеспечивает однородность информационной модели, а наследование протоколов обеспечивается однородностью самого стандарта.

Современные PDM-системы поддерживают технологию и используют прикладные протоколы STEP AP-200 - 299 для взаимодействия производителей, применяющих как различные CAD/CAM/CAE-системы, так и ERP-системы. Данные об изделии хранятся как в формате STEP, так и в форматах соответствующих систем проектирования (AutoCAD, SolidWorks, КОМПАС и т.д.). Прикладные протоколы полностью обеспечивают обмен геометрии топологии и структуры сборочных единиц между различными CAD-системами. PDM-системы дополняют эту информацию новыми свойствами: материалы, допуски и т.д.

Технология CORBA осуществляет взаимодействие объектов распределенных приложений, реализованных в различных средах и платформах (рис. 3.), что особенно важно при интеграции процессов жизненного цикла изделий в гетерогенной среде.

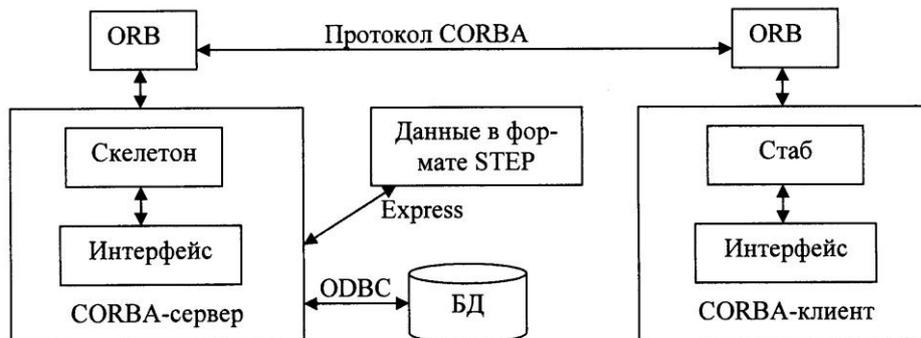


Рис. 3. Архитектура программного комплекса интеграции процессов жизненного цикла на основе спецификации CORBA

Приложения CORBA используют интерфейсы для доступа к данным в формате STEP. Ниже изображен фрагмент файла обмена для изделия (гидроцилиндр манипулятора).

ISO-10303-21;

HEADER;

FILE\_DESCRIPTION( (' '), '2;1');

FILE\_NAME('teststep',

'20033T13:06:43+03:00',

(' '), (' '),

'Crossing v.1.0',

'T-Flex Parametric Pro v.5.2;' );

FILE\_SCHEMA(('CONFIG\_CONTROL\_DESIGN'));

ENDSEC;

DATA;

#8=(NAMED\_UNIT(\*)PLANE\_ANGLE\_UNIT(SI\_UNIT(\$,.RADIAN.));

#9=DIMENSIONAL\_EXPONENTS(0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0);

#10=PLANE\_ANGLE\_MEASURE\_WITH\_UNIT(PLANE\_ANGLE\_MEASURE(0.017453292500000),#8);

#14=(CONVERSION\_BASED\_UNIT('DEGREE',#10)NAMED\_UNIT(#9)PLANE\_ANGLE\_UNIT());

#18=(NAMED\_UNIT(\*)SI\_UNIT(\$,.STERADIAN.)SOLID\_ANGLE\_UNIT());

#22=(LENGTH\_UNIT()NAMED\_UNIT(\*)SI\_UNIT(.MILLI.,METRE.));

Эти данные могут быть получены путем экспорта информации из PDM-системы. Обмен файлами между производителями изделий лесного машиностроения может осуществляться при помощи Internet-технологий: e-mail, ftp, http и др.

Нами разработаны алгоритмы и программная реализация интеграции процессов жизненного цикла изделий предприятий производителей и потребителей продукции лесного машиностроения с использованием PDM-системы [4, 5]. В настоящее время существуют множество различных PDM-систем. Среди них был выбран программный продукт российских компании

АСКОН – «ЛОЦМАН», имеющий в своём составе WEB-сервер и обеспечивающий интеграцию с системами конструкторско-технологического проектирования: КОМПАС, АВТОПРОЕКТ, AutoCad, Unigraphics, SolidWorks, «Прикладная логистика» – PDM Step Suite.

*Клиентская часть программного комплекса для потребителя*

Особенностью изделий лесного машиностроения является разнообразие среды использования. Сведения, учитывающие условия и характер их применения (природно-производственные условия эксплуатации, сезонность работ и т.д.), сообщают конструктору с помощью «тонкого» клиента – Интернет-браузера (Internet Explorer, Netscape, Opera, Mozilla и др.), не зависящего от платформы. В дальнейшем на основании этих данных конструктор принимает решение о модификации изделия с целью повысить качество продукции. Пример заполнения потребителем данных об отказах изделия представлен на рис. 4.

Рис. 4. Реализация клиентского приложения для потребителя

Обеспечение достоверности данных реализуется путем авторизации потребителя на сайте или посредством передачи сообщения заверенного цифровой подписью. На рис. 5 показан пример работы программного комплекса, позволяющего в оперативном режиме производить закупку необходимых комплектующих взамен вышедших из строя изделий. Для этого пользователю-потребителю необходимо выбрать наименования изделий и их количество. На основании этих данных формируется заявка – счет-фактура, в которую необходимо занести банковские реквизиты.

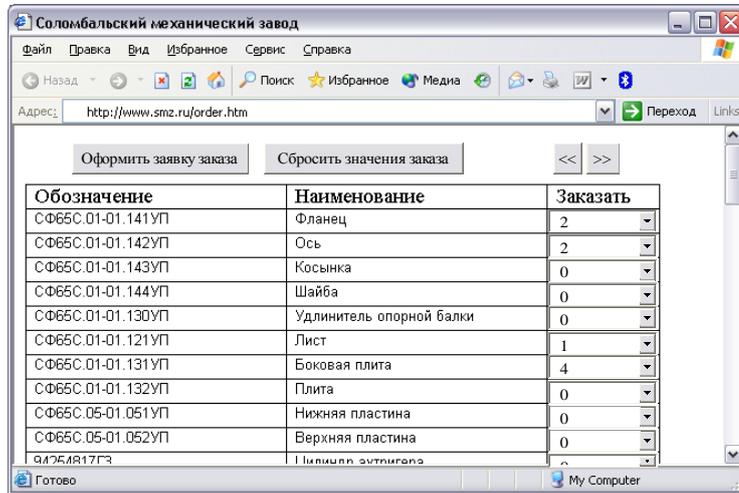


Рис 5. Заполнение формы заявки на отказавшие изделия для манипулятора СФ-65С

#### Клиентская часть программного комплекса для производителя

Сведения, заносимые потребителем, находятся в специальной таблице в базе данных изделий и просматриваются из программной системы поддержки жизненного цикла изделий. На рис. 6 изображен пример программного модуля реализованного для «ЛОЦМАН:PDM».

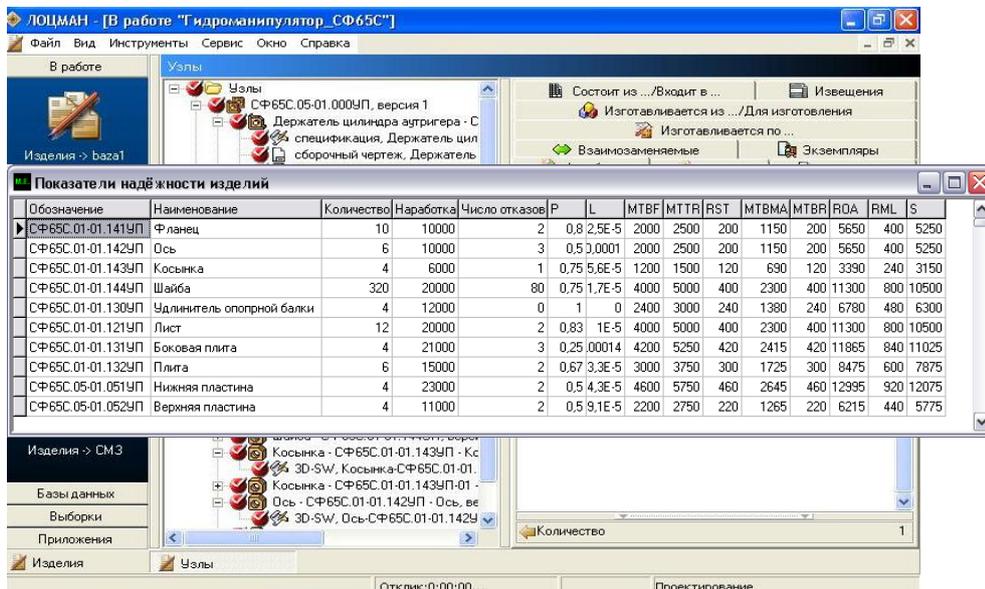


Рис. 6. Реализация клиентского приложения для производителя

Для хранения информации используют таблицу, в которую заносят разнообразные сведения, в том числе об отказах и времени наработки для указанных изделий, все остальные поля являются вычисляемыми и определяют показатели надежности элементов изделия.

В качестве возможности сопровождения техническими руководствами выпускаемых изделий были разработаны ИЭТР, которые представляют собой структурированный комплекс взаимосвязанных технических данных, предназначенных для использования в интерактивном режиме справочной и описательной информации об эксплуатационных и ремонтных процедурах, относящихся к конкретному изделию. База данных ИЭТР имеет структуру, позволяющую потребителю быстро получить доступ к нужной информации, может содержать текстовую и графическую информацию, а также данные в мультимедийной форме (аудио и видео данные). Элементы данных в ИЭТР логически взаимосвязаны для быстрого доступа к нужной информации [3].

Для создания ИЭТР – использована программа Technical Guide Builder 2.1. TG Builder – система автоматизированной подготовки интерактивных электронных технических руководств, соответствующая классу интерактивных баз данных, позволяющая создавать руководства большого объема. Функциональность TG Builder обеспечивает возможности работы коллектива авторов, планирования работ и обмена данными между разработчиками. Использование СУБД Oracle для хранения исходной информации и документации обеспечивает возможность подготовки руководств большого размера. Это тесная интеграция с PDM-системами и различными офисными приложениями, используемыми на предприятии. Возможность синхронизации между PDM и TG Builder позволяет в значительной степени уменьшить объем работ и вероятность внесения в руководство некорректных данных.

С помощью программы TG Builder нами была разработана структура руководства, которая представляет собой совокупность иерархически структурированных разделов, содержащих главы руководства. Интерфейс программы при создании и редактировании структуры изделия при опытном внедрении представлен на рис. 7.

В категории технического руководства занесена информация, которая должна содержаться в руководстве по эксплуатации, в соответствии с требованиями и стандартами предприятия. Навигация по руководству проходит при помощи механизма ссылок, осуществляющих связь между разделами. Встроенный интерфейс доступа к данным API позволил импортировать данные из уже созданной базы данных PDM-системы.

После разработки всех разделов руководство было подготовлено к публикации, которая осуществляется при помощи функции экспорта документации. Экспортировать техническое руководство в системе TG Builder можно либо в формате HTML, либо в бинарном формате. В результате этого оно будет скопировано в целевой каталог вместе со средством автономного просмотра. Отдельная страница руководства представлена на рис. 8.

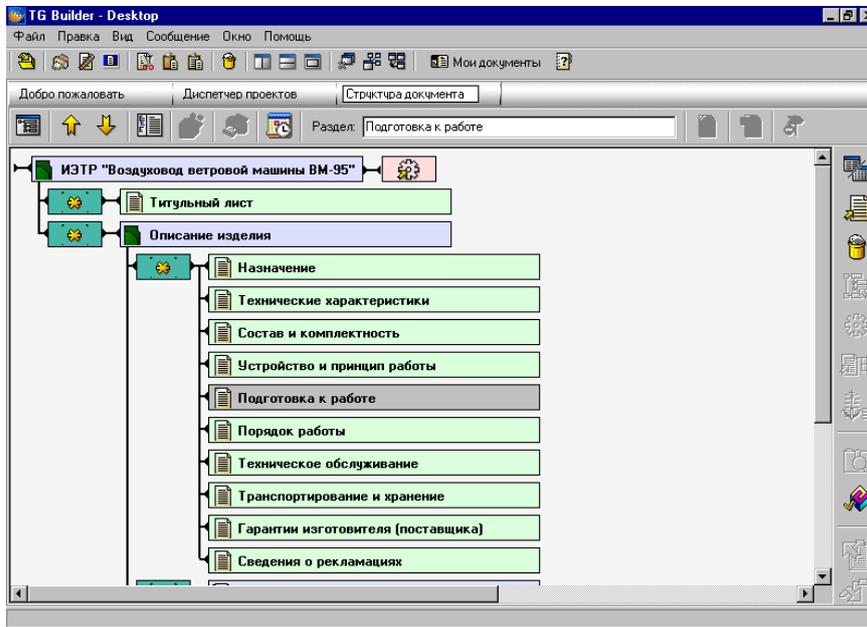


Рис. 7. Формирование и изменение структуры изделия

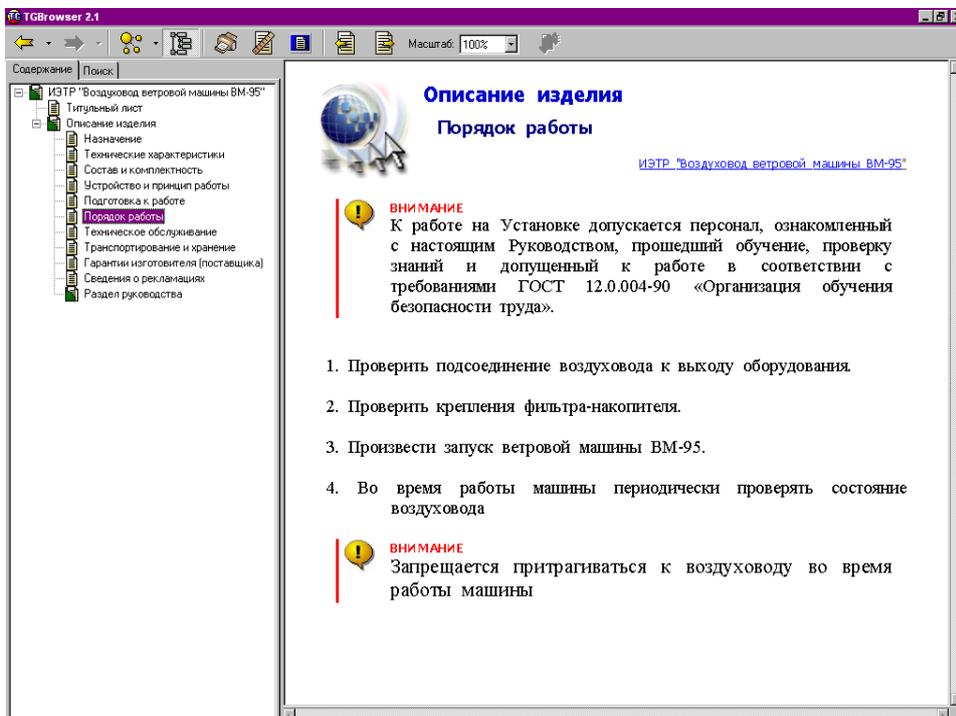


Рис. 8. Фрагмент ИЭТР для машиностроительного изделия

Исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы: разработан программный комплекс на основе PDM-системы для интеграции и работы участников жизненного цикла изделий лесного машиностроения с общими базами данными; обоснованы подходы к интеграции этапов жизненного цикла изделий предприятий лесного машиностроения, которые будут способствовать созданию единого информационного пространства производителей и потребителей техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гурьев А.Т.* Интеграция информационных процессов жизненного цикла изделий лесного машиностроения с использованием PDM-систем. / А.Т. Гурьев, М.Е. Деменков // Лесн. журн. – 2003. – № 6. – С. 125-135. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Гурьев А.Т.* Интеграция информационных процессов жизненного цикла изделий лесного машиностроения: учеб. пособие / А.Т.Гурьев, М.Е.Деменков, В.В. Павлов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – 208 с.
3. *Жирков А.* Интерактивные электронные технические руководства. / А. Жирков, [и др.] // САПР. – 2002. – № 47. – С. 44–48.
4. *Норенков И.П.* Информационная поддержка наукоемких изделий CALS-технологий / И.П. Норенков, П.К. Кузьмин. – М.: Изд-во. МГТУ. – 2002. – 320 с.
5. *Соломенцев Ю.М.* Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологий / Ю.М. Соломенцев [и др.]. – М.: Наука, 2003. – 292 с.

АГТУ

Поступила 11.01.05

*A.T. Gurjev, M.E. Demenkov*

#### **Models and Methods of Integration of Life Cycle Processes in Forest Engineering Items**

Software complex is developed for the integration and work of the participants of the life cycle for forest machine-building items with common databases.

---

УДК

**В.В. Павлов, А.Т. Гурьев, А.А. Блок**

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



## **МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Разработана структура общей имитационной модели для исследования параллельных процессов. Построена концептуальная модель распределенной среды моделирования в терминах E-сетей. Внедрение предложенной методики позволит снизить требования к используемым вычислительным ресурсам.

*Ключевые слова:* сети Петри, E-сети, параллельные технологические процессы, имитационное моделирование, распределенные модели.

При возросшей сложности комплексов машин, используемых в лесозаготовительных процессах, и параллельном проведении технологических операций, в частности лесосечных работ, встает вопрос об оптимальной организации производственного процесса в условиях ограниченности технических, людских и сырьевых ресурсов. Для решения подобных задач необходима разработка соответствующей среды моделирования параллельных технологических процессов, имеющей средства интеллектуального поиска решения.

Целью работы – создать универсальную методику исследования параллельных технологических процессов.

Одним из аспектов, повышающих эффективность исследования параллельных технологических процессов, является предоставление возможности организации параллельной разработки их моделей. Наличие соответствующей методики позволит проводить децентрализованные имитационные эксперименты и повысить эффективность коллективного участия в разработке моделей параллельных технологических процессов.

Функционирование системы в целом (или ее некоторой части – подсистемы) порождает аранжированную во времени (или некоторым другим способом) совокупность реализаций событий (действий) и изменений условий. В общем случае система может порождать разные процессы, а множество всех процессов, порождаемых системой, полностью характеризуют динамику ее поведения. Базовыми понятиями, из которых строится процесс, служат два типа элементов: действие и изменение условия. Действие в процессе – это реализация события системы, порождающей процесс, изменение условия – это разовая реализация факта изменения некоторого условия в системе. Процесс представляет собой множество элементов процесса, со-

держщее хотя бы одно действие, хотя бы одно изменение условия и некоторую совокупность отношений, определенных на этом множестве элементов. Удобным инструментом изучения множества всех процессов, порождаемых системой, служат сети Петри.

Обобщением понятия процесса являются процессы с альтернативами. В их представлении могут содержаться альтернативные действия и изменения условий, которые взаимно исключают друг друга: например, если выполняется одно действие, то другое не реализуется, и наоборот, но обязательно происходит одно из этих действий.

Все отношения, связывающие элементы процесса, вводятся через базовое отношение предшествования элементов процесса, которое обозначают символом  $<$ .

Пусть  $x$  и  $y$  – элементы некоторого процесса. Запись  $x < y$  обозначает, что элемент  $x$  входит в процесс раньше, чем элемент  $y$ , т.е. действие или изменение условия  $x$  завершится до того, как начнется действие или изменение условия  $y$  (появление элемента  $y$  в этом процессе является следствием появления в нем элемента  $x$ ):

$$x < y \Leftrightarrow \exists \pi \in \Pi : (t_x < t_y) \wedge \forall \pi \in \Pi : (t_x < t_y \text{ or } t_y < t_x),$$

где  $\Pi$  – множество всех временных протоколов процесса;

$t_x$  – момент завершения реализации элемента  $x$ ;

$t_y$  – момент начала реализации элемента  $y$ ;

or – логическая операция “исключительное или”

$$(A \text{ or } B \Leftrightarrow (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)).$$

Отношение следствия **ii** между элементами безальтернативного процесса определяется следующим образом:

$$x \text{ii} y \Leftrightarrow (x < y \text{ or } y < x) \vee (x = y).$$

Если элементы  $x$  и  $y$  связаны отношением **ii** в процессе, то возможен только один из двух вариантов: либо  $x$  всегда реализуется в процессе раньше, чем  $y$ , либо  $y$  реализуется в процессе раньше, чем  $x$ . Отношение следствия задает возможность циклического повторения элементов процесса. В подавляющем большинстве производственных систем технологические операции циклически повторяются, не являются исключением и лесозаготовительные процессы.

Отношение параллелизма **co** для процессов без альтернатив определяется как

$$x \text{co} y \Leftrightarrow ((x < y) \wedge (y < x)) \vee (x = y).$$

Это отношение не накладывает никаких ограничений на порядок следования элементов и не устанавливает никаких причинно-следственных связей между ними.

Отношение конкуренции **con** определяется следующим образом:

$$x \text{con} y \Leftrightarrow (x < y \wedge y < x) \vee (x = y).$$

Это отношение, в отличие от отношения **li**, разрешает элементам  $x$  и  $y$  реализоваться в процессе в любом порядке, но не одновременно.

Для того, чтобы определить отношение альтернативы, введем в процесс специальный фиктивный элемент  $\Omega$ , который по определению реализуется позже всех других элементов. Тогда высказывание  $x < \Omega$  выполнимо для элемента  $x$ , реализовавшегося в процессе, и только для него. Запись  $\overline{x < \Omega}$  означает, что элемент  $x$  не реализовался в процессе.

Отношение альтернативы **al** определяется следующим образом:

$$xaly \Leftrightarrow (x < \Omega \Rightarrow \overline{y < \Omega}) \vee (x = y).$$

Если процесс содержит элементы  $x$  и  $y$ , находящиеся в отношении **al**, то реализация одного из этих элементов исключает возможность реализации другого.

Перечисленные выше определения отношений следования и параллелизма отнесены к элементам процессов без альтернативы, когда каждый элемент реализуется только один раз. Обобщим эти определения для процессов с альтернативами, в которых некоторые из альтернативных элементов могут не реализоваться:

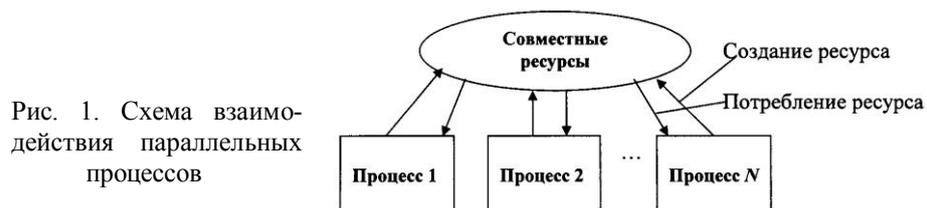
$$xliy \Leftrightarrow ((x < \Omega \wedge y < \Omega) \Rightarrow (x < y \text{ or } y < x)) \vee (x = y);$$

$$xcoy \Leftrightarrow ((x < \Omega \wedge y < \Omega) \Rightarrow \overline{(x < y \wedge y < x)}) \vee (x = y).$$

Обобщение состоит в том, что дополнительно выделены случаи, когда один из элементов  $x$  и  $y$  или оба элемента могут не реализовываться за счет того, что реализованы их альтернативы [3].

В общем случае лесозаготовительные процессы представляют собой параллельно-альтернативные процессы с конкуренцией, т.е. такие, в которых любая пара различных элементов связана одним из отношений **li**, **co**, **con** или **al**.

Отношение конкуренции предполагает наличие некоторой совокупности ресурсов, которые необходимы для реализации элементов процесса  $x$  и  $y$ , но состояние которых недостаточно для одновременной реализации  $x$  и  $y$  (например недостаточность объема некоторого ресурса). Назовем такие ресурсы совместно используемыми или разделяемыми. Например, сучкорезная машина может быть разделяемым ресурсом для нескольких бригад вальщиков леса. Отношение альтернативы в практическом смысле означает, что в зависимости от состояния некоторой совокупности ресурсов (назовем их альтернативными) может выполняться либо элемент  $x$ , либо  $y$ . Таким образом, параллельные технологические процессы взаимодействуют друг с другом посредством использования совместных ресурсов. Причем одним процессом эти ресурсы могут создаваться или пополняться, другим – использоваться. Один ресурс, в общем случае, может как создаваться, так и использоваться несколькими процессами (рис. 1).



Для целей распределенного моделирования необходимо выделить параллельные подпроцессы из процесса функционирования системы в целом. Алгоритм этой процедуры обусловлен, прежде всего, спецификой объекта исследования, но существуют некоторые общие принципы. При анализе структуры системы необходимо выделить ресурсы, которые определяют наличие отношений конкуренции и альтернативы между элементами процесса функционирования системы в целом. В зависимости от сложности иерархической структуры процесса функционирования системы может быть несколько уровней разложения на параллельные подпроцессы. В общем случае любая пара элементов из выделенных подпроцессов может быть связана одним из отношений **co** или **con**, а любая пара элементов выделенного процесса может быть связана одним из отношений **li**, **al**, **co** или **con**. Процесс разложения имеет смысл продолжать до того момента, когда он будет разбит на последовательно-альтернативные подпроцессы, в которых любая пара элементов связана одним из отношений **li** или **al**. Последней степенью разложения будут последовательные процессы, в которых элементы связаны только отношением **li**, но это вряд ли может быть целесообразно при распределенном моделировании, так как все основные расчеты сосредотачиваются в одном узле распределенной модели.

Таким образом, при распределенном моделировании выделяют  $n$  подмоделей соответственно числу выделенных параллельных процессов и общую имитационную модель, отражающую динамику движения разделяемых ресурсов.

Необходимо выделить множество разделяемых ресурсов  $R$ , т.е. ресурсов, совместно используемых параллельными процессами, и множество подмоделей  $M$ . В производственных системах зачастую существуют функции распределения создаваемых ресурсов между параллельными процессами. Таким образом, необходимо учитывать механизмы распределения производимых процессами ресурсов. Для этого определим подмножество распределяемых ресурсов  $R_D \subset R$ .

Кроме того, необходимо учитывать отношение альтернативы между элементами параллельных процессов. На основании состояния совокупности альтернативных ресурсов по заданному правилу для потребления некоторым процессом выбирают определенный ресурс, который назовем актуальным. Наличие отношения альтернативы между элементами процесса предопределяет существование нескольких альтернативных путей реализации процесса, а значит, и нескольких сценариев подмодели. Таким образом,

выделим подмножество актуальных ресурсов  $R_A \subset R$  и множество сценариев (вариантов) подмоделей  $V$ . Для каждой подмодели должна быть определена последовательность потребления и производства ресурсов соответствующим процессом, также должны быть известны временные соотношения между моментами захвата и освобождения ресурсов процессом, т.е. должно быть учтено отношение предшествования между элементами процессов. Следовательно необходимо введение признака упорядочения  $k \in K$  (где  $K$  – множество целых положительных чисел).

Предложена следующая общая имитационная модель (рис. 2):

множества  $R, R_A \subset R, R_D \subset R, V, M$ ;

оператор актуализации  $A(m, \vec{r}) = r_A$ , где  $m$  – подмодель ( $m \in M$ ),  $\vec{r}$  – совокупность альтернативных ресурсов;  $r_A$  – актуальный ресурс;

оператор распределения  $D(m, r_D) = \vec{r}$ , где  $m$  – подмодель ( $m \in M$ ),  $\vec{r}$  – вектор (совокупность) ресурсов, между которыми происходит распределение объема создаваемого ресурса  $r_D$ ;  $r_D$  – распределяемый ресурс;

множество тернарных отношений  $(r_A, v, k)$   $C_{V,k}: C_V \rightarrow K$ , где  $C_V: R_A \rightarrow V$  – функция потребления (определяет множество бинарных отношений  $(r_A, v)$ );  $v$  – сценарий ( $v \in V$ );

множество тернарных отношений  $(v, r_D, k)$   $P_{V,k}: P_V \rightarrow K$ , где  $P_V: R_D \rightarrow V$  – функция производства (определяет множество бинарных отношений  $(v, r_D)$ );

множество бинарных отношений  $(m, v)$   $S: M \rightarrow V$ .

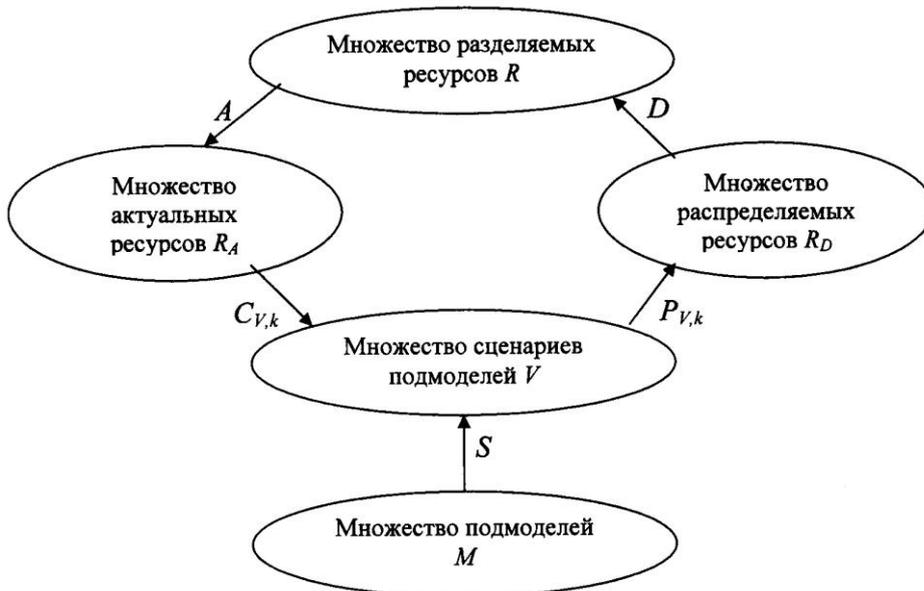


Рис. 2. Структура общей имитационной модели

В итоге получим следующие этапы имитационного эксперимента:

- 1) отдельные имитационные эксперименты над подмоделями с учетом альтернативных ресурсов и при допущении о неограниченности потребляемых ресурсов;
- 2) проведение общего имитационного эксперимента на основе полученных от отдельных имитационных экспериментов данных;
- 3) получение статистических данных о движении ресурсов и передача их подмоделям;
- 4) повторное проведение отдельных имитационных экспериментов с полученными данными о движении ресурсов.

Пункты 2 – 4 повторяются до достижения приемлемого уровня критерия оптимальности. Уровень точности зависит от точности функций распределения, передаваемых между подмоделями и общей моделью. Необходимо отметить, что единица модельного времени и интервалы моделирования должны быть одинаковыми для всех подмоделей и общей модели.

Для построения распределенной структуры модели необходимо предусмотреть процедуру построения модели, состоящей из подмоделей. Для этого необходимо предварительное разбиение общих целей исследования на подцели. Это должно быть сделано на этапе формализации. В качестве аппарата формализованного описания объекта исследования предложены сети Петри. Для отражения временных отношений между элементами процессов необходимо использование временные расширения сетей Петри. Для описания дискретно-непрерывных процессов, к которым относятся лесозаготовительные, наиболее подходят такие расширения сетей Петри, как оценочные или E-сети [1,2]. Затем каждая подмодель (подсеть Петри) должна быть преобразована в имитационную подмодель, на которой проводится эксперимент [4]. Далее результаты частных экспериментов передаются в общую имитационную модель. На основе проведения экспериментов на общей имитационной модели получают результаты, которые могут быть переданы на этап проведения повторных имитационных экспериментов на подмоделях или на этап окончательного анализа.

На рис. 3 приведена концептуальная модель распределенной среды моделирования в терминах E-сетей:

- $G_{E1}$  – генерация запроса на создание модели;
- $b_1$  – формулирование целей исследования;
- $b_2$  – создание общей модели (общей сети Петри);
- $b_4$  – разбиение на подмодели (подсети Петри);
- $b_{5.1} - b_{5.n}$  – разработка подмодели ( $n$  – число подмоделей);
- $b_{6.1} - b_{6.n}$  – преобразование формальной подмодели (в терминах сетей Петри) в имитационную;
- $b_{8.1} - b_{8.n}$  – подготовка и проведение отдельного имитационного эксперимента на подмодели;
- $b_{10.1} - b_{10.n}$  – обработка результатов отдельного имитационного эксперимента на подмодели;
- $b_{12.1} - b_{12.n}$  – подготовка объединения результатов имитационных экспериментов на подмоделях в общей имитационной модели;

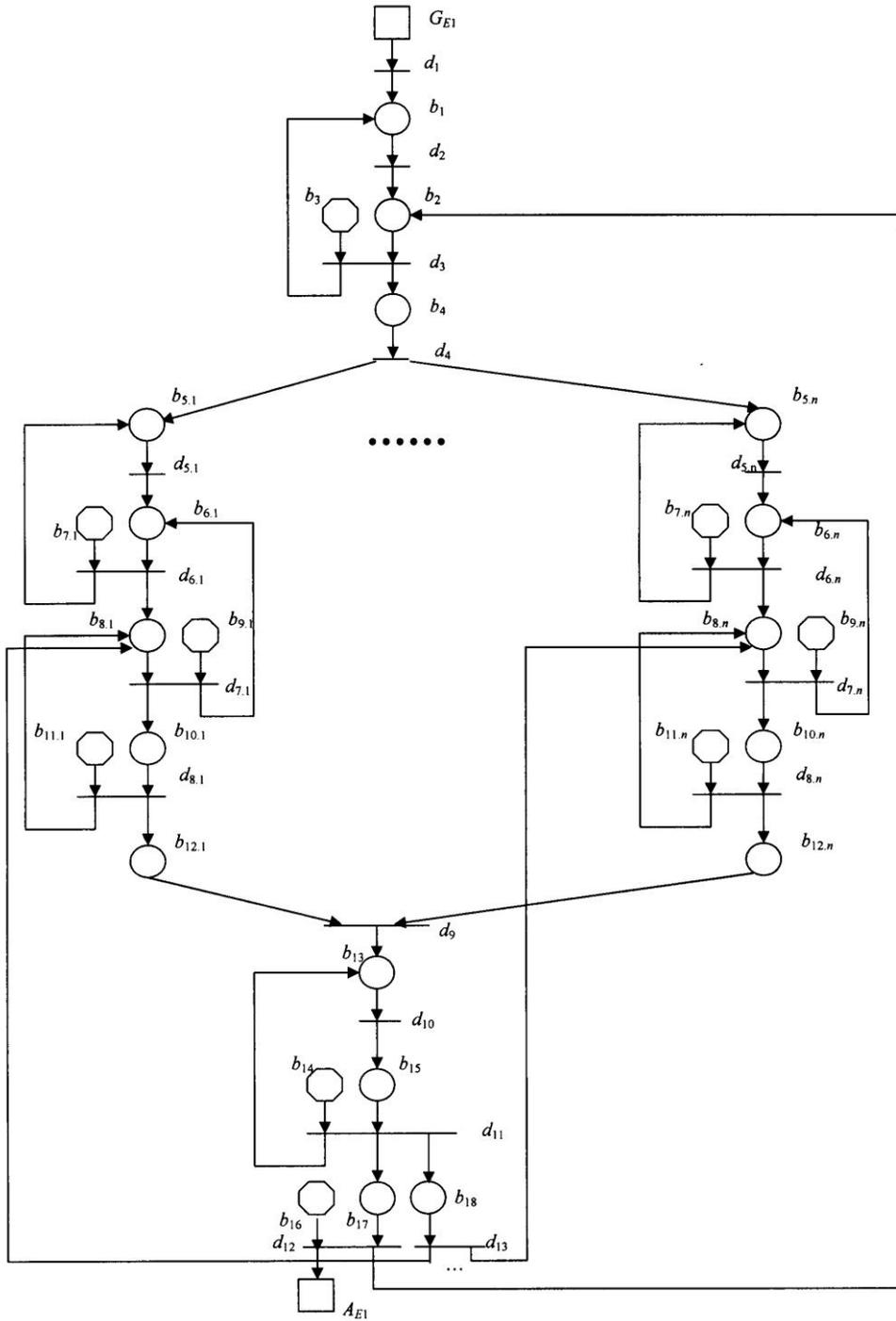


Рис. 3. Коцептуальная модель распределенной среды моделирования

- $b_{13}$  – подготовка и проведение имитационного эксперимента на общей модели;
- $b_{15}$  – обработка результатов имитационного эксперимента на общей имитационной модели;
- $b_{17}$  – анализ результатов моделирования в целом;
- $b_{18}$  – передача результатов имитационного эксперимента на общей модели подмоделям;
- $A_{E1}$  – окончание моделирования;
- $b_3, b_{7.1}-b_{7.n}, b_{9.1}-b_{9.n}, b_{11.1}-b_{11.n}$  – решающие позиции, определяющие переходить к следующему этапу моделирования или откатиться на предыдущий этап;
- $b_{14}$  – решающая позиция, определяющая направление дальнейшего исследования: проведение повторного общего имитационного эксперимента, передача данных на проведение повторных имитационных экспериментов на подмоделях или окончательный анализ результатов моделирования;
- $b_{16}$  – решающая позиция, определяющая по результатам моделирования завершать ли процесс исследования или необходимо вносить структурные изменения в целях улучшения характеристик моделируемой системы;
- $d_1, d_2, d_{5.1}-d_{5.n}, d_{10}$  – переходы типа  $T_E$ ;
- $d_4$  – переход типа  $F_E$ ;
- $d_9$  – переход типа  $J_E$ ;
- $d_3, d_{6.1}-d_{6.n}, d_{7.1}-d_{7.n}, d_{8.1}-d_{8.n}, d_{12}$  – переходы типа  $X_E$ ;
- $d_{11}$  – переход типа  $X_{E2}$ ;
- $d_{13}$  – переход типа  $F_{En}$ .

Необходимо отметить, что данная модель может быть сколь угодно вложенной. На рис. 3 отражены два уровня: общей модели и подмодели. Уровень подмодели аналогично может быть разбит также на подуровни. Таким образом может быть построена иерархическая структура моделирования.

*Выводы*

Разработана методика создания распределенных моделей параллельных технологических процессов с использованием теоретико-множественного аппарата и сетей Петри (Е-сетей), которые позволяют организовать коллективную работу при их проектировании и использовании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гурьев А.Т.* Имитационное моделирование процессов лесного комплекса: учеб. пособие для вузов / А.Т. Гурьев, А.А. Блок. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. – 172 с.
2. *Гурьев А.Т.* Основы моделирования комплексов лесосечных машин / А.Т.Гурьев, А.А. Блок // Лесн. журн. – 2004. – №3. – С.116–125. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Котов В.Е.* Сети Петри / В.Е. Котов. – М.: Наука, 1984.
4. *Советов Б.Я.* Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев – М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.

МГТУ

АГТУ

Поступила 11.01.05

*V.V. Pavlov, A.T. Gurjev, A.A. Blok***Method of Distributed Models Development for Parallel Technological Processes**

The structure of common simulation model for parallel processes investigation is developed. Conceptual model of the distributed simulation medium in the terms of E-networks is built. Introduction of the proposed method results in reducing requirements for the used computational resources.





## МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

УДК(07. 07)

***О.М. Соколов, Т.С. Буторина, Г.В. Комарова, Е.В. Ширшов***

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



Буторина Татьяна Сергеевна родилась в 1946 г., окончила в 1969 г. Архангельский педагогический институт, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой педагогики и психологии, проректор по учебной работе Архангельского государственного технического университета, академик РАСН. Имеет около 200 печатных работ в области общей и профессиональной педагогики, истории педагогики и образования, ломоносововедения.



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



Ширшов Евгений Васильевич родился в 1955 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации обработки экономической информации Архангельского государственного технического университета. Имеет более 120 печатных трудов по вопросам разработки и внедрения информационно-педагогических, дистанционных технологий в учебный процесс вуза.



## РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ МОДЕРНИЗАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ БОЛОНСКОГО ПРОЦЕССА

Рассмотрены особенности модернизации высшего образования в региональных условиях Европейского Севера на основе принципов и решений Болонского процесса.

*Ключевые слова:* Болонский процесс, модернизация высшего образования, Баренц-регион.

В мае 1988 г. в Сорбонне министры образования Великобритании, Германии, Франции и Италии подписали «Совместную декларацию о гармонизации архитектуры европейской системы высшего образования», в которой была поставлена задача создания открытой зоны европейского высшего образования, доступной для всех желающих повышать свой образовательный статус в течение всей жизни. Таким образом концепция единой Европы была распространена и на сферу образования [9].

В июне 1999 г. принципы Сорбонской декларации были подтверждены в Болонье в «Совместном заявлении европейских министров образования» (Болонская декларация) [6]. Эта дата стала началом широкого общеевропейского образовательного движения, названного Болонским процессом. В настоящее время к нему присоединились почти все страны Европы.

Россия, подписав Болонскую декларацию в сентябре 2003 г., сделала свой первый шаг к признанию российских дипломов и ученых степеней в странах Европейского сообщества. Теперь национальная система образования России должна быть реформирована в соответствии с общеевропейскими образовательными стандартами, которые содержат следующие ключевые условия [3]:

- введение двухступенчатой системы высшего образования (бакалавриат, магистратура);
- обеспечение аккредитации учебных заведений;
- введение в практику системы зачетных единиц и учета учебных часов, принятой в Европе.

Рассмотрим этапы модернизации высшего образования в соответствии с требованиями Болонского процесса.

1. *Создание стандартной системы европейского образования.* В соответствии с Сорбонской и Болонской декларациями для обеспечения единого во всей Европе стандарта образования, способствующего ликвидации барьеров и более тесному сотрудничеству в формировании общего социального, интеллектуального, культурного пространства, необходимо во всех странах ввести двухступенчатую систему высшего образования.

Обучение на первой ступени завершается через 3 – 4 года получением первой академической степени – бакалавра. Как отмечено в Сорбонской

декларации, еще студенты достепенного цикла должны иметь доступ к диверсифицированным программам, включающим возможность междисциплинарных занятий, развития знания иностранных языков и использования новых информационных технологий [9]. В Болонской декларации уточняется, что «степень, присуждаемая после первого цикла, должна быть востребованной на европейском рынке труда как квалификация соответствующего уровня» [6], т. е. бакалавр – это специалист с высшим образованием, полностью готовый работать по избранной специальности.

Обучение на второй ступени может проходить как по короткой (1 – 2 года) так и по длительной программе. В первом случае обучение завершается присуждением степени магистра, во втором – доктора. Для до получения степени доктора необходимо пройти оба цикла продолжительностью 7 – 8 лет.

Некоторые российские ученые высказывают опасение, что перенесение данной схемы в сферу российского образования приведет к снижению уровня фундаментальности образования. [3, 7, 13]. В российских высших учебных заведениях полным циклом обучения считается 5 лет. Причем на первых двух курсах изучаются дисциплины общеобразовательного профиля, закладывающие теоретические фундаментальные основы научных знаний, и социально-гуманитарного направления. Общепрофессиональные и специальные дисциплины начинаются только с третьего курса. При переходе на 3 – 4-годичную систему подготовки бакалавров, как основных специалистов с высшим образованием, потребуется значительно сократить дисциплины, изучаемые на первых двух курсах и начать специализированную подготовку уже со второго курса. Если рассматривать обучение до получения степени магистра как подготовку к научной академической карьере в избранной специальности, целесообразно перенесение части дисциплин теоретического профиля на послестепенный цикл.

Если соотнести ученые степени, присуждаемые в настоящее время в России с системой европейских ученых степеней по продолжительности обучения, то степень европейского доктора (PhD) будет соответствовать российскому кандидату наук, а степень магистра можно присваивать всем выпускникам, прошедшим пятилетний курс обучения. Эти системы и требуют сравнения не по времени, а, прежде всего, по содержанию и качеству получаемого образования. Так как, жесткая двухуровневая система не предполагает получения степени доктора наук, именно поэтому следует рассматривать многоуровневую систему образования.

*2. Обеспечение качества образования.* Качество образования объявлено основой формирования зоны европейского высшего образования. На встрече министров высшего образования в Берлине в сентябре 2003 г. было достигнуто соглашение о том, что к 2005 г. национальные системы обеспечения качества образования должны включать следующие элементы [12]:

определение ответственности организаций и институтов, участвующих в образовательном процессе;

оценка программ вузов, в том числе внутренняя оценка, внешние отзывы, оценка со стороны студентов и опубликованные данные по этому вопросу;

система аккредитации, сертификации и т.п.;

свидетельства международного участия в оценке качества образования, международного сотрудничества и работы в рамках сетей (networks).

По решению Министерства образования России, в каждом высшем учебном заведении в течение 2002 – 03 гг. предполагалась создать собственную систему контроля качества образования с привлечением студентов, преподавателей, работодателей, пронизывающую весь учебный процесс. С 1 января 2004 г. аттестация и аккредитация любого вуза невозможны без наличия в нем структуры контроля качества образования [7].

### *3. Содействие мобильности участников образовательного процесса.*

Одним из основных направлений Болонского процесса является содействие мобильности студентов, преподавателей и административных работников вузов, выражающееся в создании условий для свободного обучения студентов из разных стран в выбранных учебных заведениях. В соответствии с принципами Сорбонской и Болонской деклараций студент должен иметь право выбора не только изучаемых курсов, но и университетов для обучения. Он может изучать тот или иной предмет в университете одной страны, затем продолжить его изучение в другом вузе и в другой стране. Для этого необходимо, чтобы система подготовки строилась на модульном межпредметном принципе, что находится в противоречии с существующей в настоящее время в России предметной системой профессиональной подготовки специалистов.

*4. Система кредитов как основа универсальности и непрерывности образования.* Для оценки трудозатрат на изучение дисциплин предлагается использовать единую европейскую систему зачетных единиц – так называемых кредитов (European Credit Transfer System – ECTS). Кредит или кредитная зачетная единица – это мера трудоемкости учебной дисциплины, в какой-то степени сопоставимая со временем, затраченным на ее изучение. Изучая любой предмет, студент набирает какое-то количество кредитов. Для получения определенной степени необходимо иметь установленное число кредитов. Причем совершенно все равно, когда, где и в какой форме они были получены, лишь бы образовательные учреждения входили в общую систему европейского образования. Большое значение приобретает система дистанционного обучения, где также можно набрать определенное количество кредитов по отдельным курсам.

Так реализуется принцип «образование через всю жизнь», когда человек может в любой момент продолжить или усовершенствовать свое образование, воспользовавшись накопительной системой начисления зачетных кредитов. В настоящее время ECTS находится в процессе становления. На встрече более 300 представителей высших учебных заведений в Саламанке в марте 2001 г. прозвучало мнение, что для получения первых степеней должна быть выполнена учебная работа от 180 до 240 кредитов ECTS [11].

В России мерой трудоемкости обучения служит академический час. Однако трудно вычислить, сколько академических часов приходится на один кредит. Кредит – это прежде всего, мера работы студента, отражающая реально освоенные знания, полученные навыки и умения [5], в то время как наш академический час в основном является мерой работы преподавателя. Сегодня проводятся исследования и разрабатываются методики, призванные сопоставить европейскую и российскую системы расчета трудоемкости обучения. Например, существует методика, предложенная Минобразования России, в которой предлагается 1 кредит принять равным 36 ч общей трудоемкости [8].

Кроме меры трудоемкости обучения, необходимо также привести в соответствие с европейскими стандартами и меру оценки знаний, так как в российской системе высшего образования действует 5-балльная система оценки знаний (фактически 4-балльная), а в европейской системе – 6-балльная (табл. 1).

Основой для признания дипломов о высшем образовании во всех европейских странах является специальное приложение к диплому европейского образца (Diploma Supplement), в котором содержится информация о прослушанных курсах, полученных оценках и набранных кредитах, подобно вкладышу к российскому диплому о высшем образовании.

Взаимное признание дипломов стран-участниц Болонского процесса предполагается осуществлять с 2010 г.

#### 5. Проблемы и противоречия внедрения Болонской декларации.

Опасения возникают по следующему кругу вопросов [4]:

сокращение бесплатного образования;

резкое сокращение выделяемых из бюджетов средств на высшее образование;

вероятное снижение качества образования при введении ECTS и др.

В европейских государствах развернулись острые дискуссии по Болонской декларации. В Германии научно-образовательная общественность считает, что унификация образования снижает значимость национальной образовательной традиции, вызывая радикальное изменение пропорций между обязательными курсами и курсами по выбору. Во Франции существует особая традиция подготовки специалистов по истории и политологии. Французы не считают другие образовательные модели более

Таблица 1

Grade at Faculty of Engineering and Science	ECTS grade	Definition	Percentage of successful students normally achieving the grade
1,0 – 1,7	A	Excellent	10
1,8 – 2,5	B	Very good	25
2,6 – 3,5	C	Good	30
3,6 – 3,9	D	Satisfactory	25
4,0	E	Sufficient	10
4,1 – 6,0	F	Fail	

совершенными, но хотят сохранить своеобразие своей системы. В России также бурно обсуждают направления интеграции отечественного образования в единое европейское пространство.

Не устранены препятствия к расширению мобильности преподавателей. Конкуренция, как механизм развития высшего образования и совершенствования его качества, далеко не однозначно воспринимается в академических и общественных кругах. Не устранена путаница относительно роли и объектов аккредитации. В ряде случаев отсутствует терминологическая ясность. Многих не устраивает разноречивость в номенклатуре степеней, дипломов и квалификаций. Требуется англоязычная идентификация ряда традиционных и вновь создаваемых высших учебных заведений и т.п.

В части европейских стран «образование через всю жизнь» рассматривается как часть (цель, задачи) системы высшего образования. Тем не менее, решать проблемы предстоит как и тем, кто активно включился в Болонский процесс, так и тем, кто предпочитает выждать время и надеется на здоровый консерватизм образовательных систем, способных к самозащите, саморазвитию и отторжению чуждого и поспешного.

6. *Опыт использования ECTS.* В разных европейских странах сформировались многообразные и многоступенчатые системы высшего профессионального образования. В 1988–1995 гг. эксперимент по использованию ECTS был проведен в 145 европейских вузах разного профиля. В 1997–1999 гг. систему внедрили уже 1062 вуза Европы. Для консультирования вузов по вопросам внедрения и использования ECTS в Европе созданы региональные консультационные пункты.

ECTS основана на нескольких основных положениях:\*

зачетная единица – относительная величина, измеряющая нагрузку студента относительно общей годовой нагрузки в данном вузе; при этом сохраняется разница в трудоемкости программ разных вузов и разных направлений образования;

зачетная единица включает все виды работы: аудиторной, самостоятельной, экзамены, курсовые и проекты;

зачетные единицы получают только те студенты, которые успешно сдали данный предмет;

каждый вуз, участвующий в этой системе, обязан выполнить ряд требований, описать все дисциплины своей программы в зачетных единицах, свою систему оценок и долю оценок каждого типа, признавать программы, пройденные его студентами в других вузах, если они сопоставимы по разделам и зачетным единицам.

На наш взгляд, в России эта система может быть применима при сопоставлении их содержания и полном доверии к партнерам. Необходимо, чтобы в этом случае дидактические единицы той или иной дисциплины были освоены студентом и оценены одинаковым количеством зачетных единиц.

---

\* [http://www.ccep.ru/html/soderzh\\_mater\\_k\\_vserrros.tld](http://www.ccep.ru/html/soderzh_mater_k_vserrros.tld)

Полного соответствия учебных планов разных вузов добиться сложно. Кроме того, все вузы постоянно видоизменяют свои программы, вводя новые дисциплины в ответ на изменения спроса. Это создает проблемы при перезачете дисциплин как российским студентам, прошедшим обучение за рубежом, так и иностранным студентам, желающим учесть дисциплины, пройденные в российских вузах, для получения своего национального диплома.

Результаты выполненных исследований и анализ литературных источников показали, что при решении проблем, связанных с внедрением ECTS, необходимо учитывать: целесообразность укрупнения курсов, т.е. объединения тем отдельных курсов, в том числе смежных; актуальность переноса акцента на самостоятельную работу студентов при сокращении количества аудиторных часов; перспективность введения модульных графиков учебного процесса для сокращения числа одновременно изучаемых дисциплин; необходимость организации самостоятельной работы студентов по-новому, т.е. создание системы заданий, обучающей студентов поиску, анализу и интерпретации информации; необходимость организации интегрированных междисциплинарных видов работ, деловых игр, групповых исследовательских проектов и т.п.; обязательность использования независимой экспертизы на самых разных этапах обучения в виде публичных защит курсовых работ и отчетов по практике, приема зачетов и экзаменов преподавателями, которые не вели данный курс.

*7. Региональный аспект создания единого образовательного пространства Баренц-региона.* 11 января 2003 г. исполнилось десять лет со дня подписания Киркенесской декларации, провозгласившей создание уникального геополитического объединения Баренц Евро-Арктического региона, в состав которого вошли арктические регионы России, Норвегии, Швеции и Финляндии в бассейне Баренцева моря. Наиболее успешным было признано сотрудничество стран региона в области высшего образования, что послужило основой для разработки концепции единого научно-образовательного пространства Баренц-региона в качестве модели для других регионов [13]. Инициатива о начале эксперимента по созданию единого образовательного пространства Баренц-региона была поддержана Министерством образования России. Пилотным регионом по интеграции России в Болонский процесс станет Архангельская область, имеющая большой опыт международного сотрудничества в области образования. При этом предполагается осуществить 12-летнее школьное образование с усиленным изучением иностранных языков; единую систему аттестации школьников в виде единого государственного экзамена (ЕГЭ), результаты которого могут использоваться в качестве вступительных экзаменов, не только в российских, но и в европейских вузах; приведение системы высшего образования к европейским стандартам, включающим двухступенчатую систему образования с обязательным обучением каждого студента в любом европейском вузе в течение не менее одного семестра и владением английским языком; изменение системы послевузовского образования – признание дипломов кандидатов наук

и PhD в качестве эквивалентных; создание инфраструктуры для обучения иностранных студентов (включая страны СНГ) в России (строительство и благоустройство общежитий, организация питания, закупка современного оборудования, обеспечение библиотек вузов литературой на английском языке [1, 10]).

*Деятельность Архангельского государственного технического университета (АГТУ) в рамках Болонского процесса*

В образовательных программах Баренц-региона принимают участие все крупные вузы Архангельской области, в том числе АГТУ. Университет активно участвует в различных программах международного научного сотрудничества и содействия мобильности студентов и преподавателей. Студенты АГТУ имеют возможность обучаться в зарубежных высших учебных заведениях, в свою очередь иностранным студентам предоставляется возможность получать образование в университете. В рамках международного сотрудничества преподаватели европейских учебных заведений читают лекции в АГТУ, наши преподаватели повышают свою квалификацию в университетах Европейского Союза.

Два года назад при кафедре лингвистики и межкультурной коммуникации АГТУ для расширения академических связей и установления сотрудничества с вузами Великобритании был создан Британский центр. В университете открыт информационный офис INTAS – Международной ассоциации для сотрудничества с учеными из СНГ, цель которого – доводить до сведения заинтересованных лиц предложения ассоциации. Членами INTAS являются более 30 европейских стран, партнерами – 12 бывших республик СССР.

За последние три года АГТУ принял участие в пяти проектах по программам «Tasis», «Tempus», «Bistro», «Inco-copernicus», финансируемых Европейским Союзом. Заключены договоры о сотрудничестве с высшими учебными заведениями Германии (Университет прикладных наук в Эмдена); Норвегии (Университетский колледж Нарвика, Университет Будё, Университет науки и технологии в Тронхейме, Колледж природных ресурсов в Северном Тронделаге; университет Тромсё, университетские колледжи Gjøvik, Hedmark, Lillehammer); Финляндии (Университет и Политехнический институт в Оулу, Лапландский университет и Политехнический институт в Рованиеми, Финляндский институт менеджмента в Каухава, Университет Йонсуу); Швеции (Университет сельскохозяйственных наук в Умео, Университет средней Швеции, Технологический университет в Лулео); Польши (Ягеллонский университет); Китая (Лесотехнический университет в Пекине).

Обучение студентов АГТУ в рамках международного обмена ведется по различным специальностям и направлениям.

Сотрудничество с Норвежским университетом науки и технологии в Тронхейме направлено на подготовку специалистов для разработки и эксплуатации нефтяных и газовых скважин. По гранту, выделенному

норвежским правительством, студенты АГТУ обучаются в высших учебных заведениях Норвегии. С 1996 г. Университетский колледж в Нарвике проводит обучение студентов I курса по программе бакалавров, а с 2000 г. – магистров по шести техническим специальностям. С 2001 г. Колледж природных ресурсов Северного Тронделага обучает студентов III курса лесохозяйственного факультета. После окончания колледжа студенты получают дипломы колледжа и АГТУ, т.е. фактически осуществляется признание результатов обучения в Норвегии по заранее согласованной программе.

На строительном факультете в течение 5 лет велось обучение по специальности «оценка недвижимости» совместно с норвежской стороной.

С 1999 г. в АГТУ обучаются студенты из Анголы и Ирана. Начало работать подготовительное отделение для иностранных студентов из Перу, Нигерии, Китая. АГТУ обеспечивает прохождение летней практики в учебно-опытном лесхозе для студентов Финляндии, Швеции, Германии.

В 2001 г. Институт экономики, финансов и бизнеса АГТУ совместно с региональным Университетом Будё (Норвегия) начал осуществлять проект по развитию программы MBA (Master of business and administration – Магистр делового администрирования). После окончания двухлетнего обучения по данной программе и защиты магистерской диссертации на английском языке выдается диплом регионального Университета Будё и российский диплом MBA Института бизнеса и коммуникаций Балтийского государственного технического университета (С.-Петербург).

В области международного научного сотрудничества АГТУ принимает участие в достаточно большом количестве проектов (табл. 2).

Таблица 2

Проект	Зарубежные партнеры	Российские партнеры	Сроки
Программа получения степени мастера делового администрирования (US Aid with Eurasia Foundation & Parents Secretariat)	Школа бизнеса Регионального университета Будё (Норвегия)	Институт экономики, финансов и бизнеса Архангельского государственного технического университета	2001 – 2006
Создание экологической платформы для Северного Калотта и Северо-Запада России (INTERREG IIIA KOLARCTIC)	Технологический университет Лулео (Швеция), Университет г. Оулу и Политехнический институт Рованиеми (Финляндия)	Архангельский государственный технический университет, Мурманский государственный технический университет, Кольский НЦ РАН РФ	2002 – 2005

Окончание табл. 2

Проект	Зарубежные партнеры	Российские партнеры	Сроки
Развитие сети экспертов и компетенции в Баренц-регионе (INTERREG IIIA KOLARCTIC)	Политехнический институт Кеми-Торнио, Университет Лапландии, Политехнический институт Рованиеми (Финляндия); Университетский колледж Финнмарка (Норвегия); Технологический университет Лулео, Ассоциация высшего образования Восточного Норботтена (Швеция)	Мурманский государственный педагогический университет, Архангельский государственный технический университет, Поморский государственный университет	2002 – 2005
Развитие и усовершенствование программ подготовки преподавателей профессионального обучения по природоохранным технологиям в лесоводстве (IB_JEP_23107-2002 Tempus)	Политехнический институт Тампере (Финляндия), Национальный сельскохозяйственный колледж (Франция)	С.-Петербургская государственная лесотехническая академия, Архангельский государственный технический университет, Петрозаводский государственный университет	2003-2006
Развитие международной сети для продвижения высшего образования Баренц-региона (ERASMUS MUNDUS)	Университет Лапландии, Политехнический институт Рованиеми, Политехнический институт Кеми-Торнио (Финляндия); Университет Умео, Технологический университет Лулео (Швеция); Региональный университет Будё, Университетский колледж Тромсё (Норвегия)	Архангельский государственный технический университет, Мурманский государственный технический университет, Мурманский гуманитарный институт, Северный государственный медицинский университет, Поморский государственный университет, Мурманский государственный педагогический университет, Кольский медицинский колледж	2004-2007
Дополнительное профессиональное образование, отвечающее современным потребностям на рынке труда в Архангельской области (SIDA)	Фолькуниверситет, Упсала, КУ-мюндигетен, CFL, Университет Стокгольма, Департамент туризма в университете Карлскрона (Швеция)	Комитеты по международным связям и развитию туризма и по труду администрации Архангельской области, Архангельский государственный технический университет	2004-2007

Планируется участие АГТУ в новых проектах по оказанию помощи российским университетам Баренц-региона в Болонском процессе (Университет Умео, ПГУ, МГИ, АГТУ, МГПУ, СГМУ, Сыктывкарский технический университет); профессиональному обучению иностранным языкам в российских университетах (С.-Петербургский государственный университет, АГТУ, Хемница (Германия), колледж Св. Марка и Джона (Великобритания)).

АГТУ также включился в программу последипломного образования, проводимую Центральным европейским университетом (Будапешт) – международным центром последипломного образования и научных исследований в области гуманитарных и социальных наук [2].

Обширная программа международного сотрудничества позволяет надеяться, что АГТУ займет достойное место среди европейских университетов в открытой зоне европейского высшего образования, формируемого в рамках Болонского процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельская область станет «пилотным» регионом по вступлению в Болонский процесс / Архангельские новости: проект информ. агентства REGNUM [Электронный ресурс]. – 23.01.2004. – Режим доступа: <http://www.arnews.ru/news/168180.html>
2. Архангельский государственный технический университет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agtu.ru>
3. Афанасьев Ю. Болонский аршин: русский университет vs европейский // Русский журнал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.russ.ru/ist\\_sovr/sumerki/20030407\\_atan.html](http://www.russ.ru/ist_sovr/sumerki/20030407_atan.html)
4. Байденко В.И. Болонский процесс: структурная реформа высшего образования Европы / В.И. Байденко. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, Российский новый университет, 2002. – 128 с.
5. Гребнев Л.С. Болонский процесс и российское высшее образование [Электронный ресурс]. – Российская ассоциация бизнес-образования. – Режим доступа: [http://www.rabe.ru/new/rus/m32\\_1.htm](http://www.rabe.ru/new/rus/m32_1.htm)
6. Зона Европейского высшего образования: совместное заявление европейских министров образования, Болонья, 19 июня 1999 г. [Электронный ресурс]. – С.-Петербургский государственный университет. – Режим доступа: <http://www.spbu.ru/News/edusem/bol.htm>
7. Министр образования РФ о Болонском процессе: выступление В.М. Филиппова на международной конференции, СПб., декабрь 2002 г. [Электронный ресурс]. – Сайт Министерства образования РФ. – Режим доступа: <http://www.ed.gov.ru>
8. Рекомендации совещания рабочей группы по изучению аспектов Болонского процесса [Электронный ресурс]. – СПб.: Центр сравнительной образовательной политики, 20.03.2003. – Режим доступа: [http://www.cser.ru/index/php?id=bol\\_process](http://www.cser.ru/index/php?id=bol_process)
9. Совместная декларация о гармонизации архитектуры Европейского высшего образования четырех министров, представляющих Великобританию, Германию, Францию и Италию; Париж, Сорбонна, 25 мая 1988 г. [Электронный ресурс]. – С.-Петербургский государственный университет. – Режим доступа: <http://www.spbu.ru/News/edusem/sorbon.htm>

10. Федоров С. Сегодня – студенты, завтра – бакалавры и магистры [Электронный ресурс]. – Архангельск: Поморский государственный университет, 18.12.2003. – Режим доступа: [http://www.pomorsu.ru/Press/Lomon/1dec2003/article348\\_349.html](http://www.pomorsu.ru/Press/Lomon/1dec2003/article348_349.html)

11. Формирование будущего; Саламанка 29-30 марта 2001г. [Электронный ресурс]. – С.-Петербургский государственный университет. – Режим доступа: <http://www.spbu.ru/News/edusem/salam.htm>

12. Формирование общеевропейского пространства высшего образования: коммюнике Конференции министров высшего образования, Берлин, 19 сент. 2003 г. [Электронный ресурс] – С.-Петербургский государственный университет: Ресурсный центр социально-гуманитарных исследований. – Режим доступа: <http://www.rcenter.spb.ru:8101/bolonsk/communic/shtml>

13. Шестаков Г. Карман не по костюму? Болонский процесс: чем придется поступиться // Поиск. еженедельная газета научного сообщества, №7(769), 20 февр. 2004 г. [Электронный ресурс]. – Российский портал открытого образования. – Режим доступа: <http://www.conf.sssu.ru>

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 11.01.05

*O.M. Sokolov, T.S. Butorina, G.V. Komarova, E.V. Shirshov*

### **Regional Aspect of Higher Education Modernization in Conditions of Bologna Process**

Peculiarities of modernization of higher education are viewed in the context of the regional conditions of the European North based on the principles and decisions of the Bologna process.

---



УДК 676.164.3.082.3

*В.А. Сулов*

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЫПАРНЫХ СТАНЦИЙ ЦБК И ИХ СОПОСТАВЛЕНИЕ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПАРИВАНИЯ**

Проведен анализ эффективности работы выпарных станций Сегежского, Светогорского, Архангельского, Котласского ЦБК и Братского ЛПК в зависимости от тепловой нагрузки, температурных напоров и концентрации выпариваемого щелока; сопоставлены их основные теплотехнические характеристики по испарительной способности.

*Ключевые слова:* исследования, выпарные станции, выпарные аппараты, батарея, тепловая эффективность, коэффициенты теплопередачи, плотность теплового потока, тепловые нагрузки, теплоотдача, температурный напор, черный сульфатный щелок, концентрация щелока.

Исследование тепловых режимов работы выпарных станций проводили с целью определить диапазон изменения режимных параметров работы выпарных аппаратов и их тепловой эффективности. Аппараты станций, на которых проводили исследования, были длиннотрубными однопроходными с подъемным движением упариваемого раствора.

Параметры, характеризующие работу выпарных станций, контролировали с помощью манометров, мановакууметров, термометров и термопар, установленных на аппаратах, контрольно-измерительных приборов щитов управления батареями. Концентрацию раствора на входе в выпарные аппараты и на выходе из них измеряли ареометрами для последующего расчета тепловых нагрузок. Для проверки полученных результатов составляли материальные и тепловые балансы каждого аппарата и батареи в целом. По балансовым величинам определяли недостающие значения для расчета коэффициентов теплопередачи и характеристик работы выпарных аппаратов при различных режимах [2].

Объекты исследования:

на Сегежском ЦБК – выпарная батарея фирмы «Розенблад» производительностью 140 т/ч по выпаренной воде, работающая по шестиступенчатой смешанной схеме питания корпусов и укомплектованная 8 аппаратами; выпарная батарея фирмы «Розенлев-Свенсон» производительностью 160 т/ч по выпаренной воде, работающая по шестиступенчатой противоточной схеме питания корпусов и укомплектованная 6 аппаратами;

на Светогорском ЦБК – выпарная батарея фирмы «Энсо-Гутцейт» производительностью 187 т/ч по выпаренной воде, работающая по пятиступенчатой смешанной схеме питания корпусов и укомплектованная 5 аппаратами;

на Архангельском ЦБК – выпарная станция фирмы «Энсо-Гутцейт» производительностью 116 т/ч по выпаренной воде, работающая по шестиступенчатой смешанной схеме питания корпусов и укомплектованная 6 аппаратами;

на Котласском ЦБК – 2 выпарные батареи фирмы «Розенблад» производительностью 125 и 135 т/ч по выпаренной воде, работающие по пятиступенчатым противоточным схемам питания корпусов и укомплектованные каждая 6 аппаратами; выпарная батарея фирмы «Парсон и Виттемор» производительностью 220 т/ч по выпаренной воде, работающая по шестиступенчатой противоточной схеме питания корпусов и укомплектованная 7 аппаратами;

на Братском ЛПК – 7 выпарных батарей фирмы «Розенблад» производительностью 100 (2 батареи), 160 (3 батареи) и 219 т/ч (2 батареи) по выпаренной воде, работающие по шестиступенчатым смешанным схемам питания корпусов и укомплектованные соответственно 7, 8 и 6 аппаратами.

Выпарные станции (без учета концентраторов) работали в следующем диапазоне режимных параметров: концентрация щелока на входе в кипятильные трубы аппаратов – 17...50 % абс. сухих веществ; давление греющего пара в кипятильниках выпарных аппаратов – 0,04 ... 0,35 мПа; давление вторичного пара в сепараторах аппаратов – от 0,015... 0,200 мПа; скорость циркуляции раствора  $W$  – 0,005... 0,035 м/с; температура черного сульфатного щелока на входе в кипятильные трубы – от недогрева до температуры насыщения  $\Delta t_n = 16,0$  °С до перегрева  $\Delta t_n = 20$  °С; коэффициент теплопередачи в аппаратах – 150...3000 Вт/(м<sup>2</sup> · °С); плотность теплового потока – 1...50 кВт/м<sup>2</sup>.

Как следует из рис. 1 зависимость коэффициента теплопередачи  $K$  от концентрации  $B$  щелока в корпусах обследованных батарей обратно пропорциональна. Особенно резкое снижение  $K$  отмечено в области малых тепловых нагрузок, до 7 кВт/м<sup>2</sup>. В этом случае у аппаратов, работающих с большой длиной экономайзерного участка (высокие значения недогрева раствора при противоточных схемах питания), развитое кипение происходит на ограниченном участке кипятильных труб. На большей части кипятильных труб (где при низких скоростях раствора его вязкость имеет определяющее значение) теплота передается согласно законам конвекции. С увеличением плотности теплового потока раствор прогревается более интенсивно, длина экономайзерного участка трубы уменьшается, а объем трубы, занимаемый зонами с развитым кипением (где вязкость не является определяющей), увеличивается. Поэтому снижение коэффициента теплопередачи с увеличением концентрации замедляется. Представленное изменение характера теплоотдачи при выпаривании растворов определяется возрас-

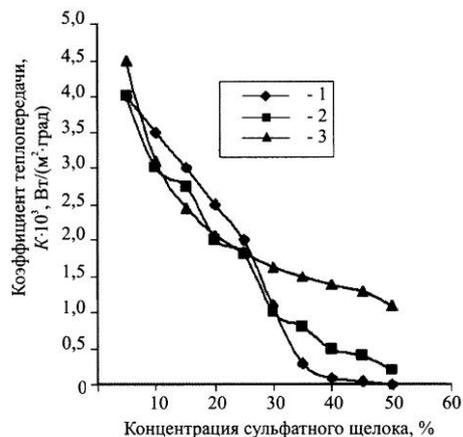


Рис. 1. Зависимость интенсивности выпаривания от концентрации сульфатного щелока: 1 –  $q < 7$  кВт/м<sup>2</sup>; 2 –  $q < 15$ ; 3 –  $q < 30$  кВт/м<sup>2</sup> ( $q$  – плотность теплового потока)

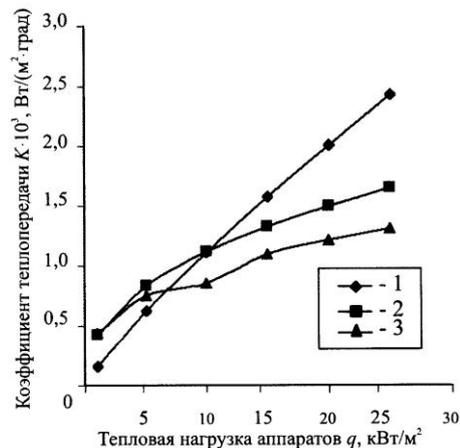


Рис. 2. Зависимость интенсивности выпаривания от тепловой нагрузки: 1 –  $B < 30$  % а.с.в.; 2 –  $B < 40$ ; 3 –  $B < 50$  % а.с.в. ( $B$  – концентрация щелока)

тающим влиянием тепловой нагрузки на интенсивность теплоотдачи и связанным с этим перераспределением режимов течения кипящего раствора в кипятильных трубах выпарных аппаратов, имеющих разную интенсивность теплообмена.

Как видно из рис. 2, с увеличением плотности теплового потока значения  $K$  выпарных корпусов увеличиваются, а влияние тепловой нагрузки с ростом концентрации щелока падает.

Увеличение температурного напора в выпарном аппарате (разность температур греющего пара и кипящего раствора), как показано на рис. 3, приводит к снижению коэффициента теплопередачи. Согласно представленным данным, в диапазоне  $\Delta t = 5 \dots 10$  °С, при одних и тех же тепловых нагрузках и температурных напорах более высокие концентрации соответствуют более высокие значения коэффициентов теплопередачи.

Для сравнения эффективности работы выпарных батарей было произведено сопоставление их основных теплотехнических характеристик. Эффективность работы выпарных станций в настоящее время оценивают по сле-

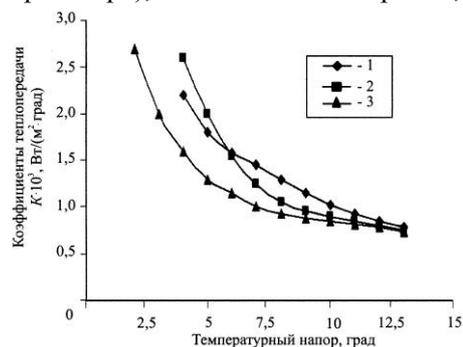


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопередачи от температурного напора в выпарном аппарате: 1 –  $b = 40$  %; 2 – 30; 3 – 20 % а.с.в. ( $q = 10$  кВт/м<sup>2</sup>)

## Оценка испарительной способности выпарных станций

Предприятие	Фирма-поставщик станции	Производительность по выпаренной воде, т/ч	Концентрация сух. веществ щелока до/после выпаривания, % а.с.в.	Число корпусов, шт.	Количество выпариваемой воды $W_y \cdot 10^4$ , т/(т · м <sup>2</sup> )
Светогорский ЦБК	Энсо-Гутцейт	187	22/62	5	3,7
Архангельский ЦБК	Энсо-Гутцейт	116	24/55	6	2,5
Котласский ЦБК	Розенблад	130	24/49	6	2,6
	Парсон и Виттемор	225	24/49	7	2,9
Братский ЛПК	Розенблад	160	22/50	7	5,4
	Розенблад	100	22/50	6	7,5
	Розенблад	220	22/56	6	3,5
Сегежский ЦБК	Розенблад	140	22/60	8	2,8
	Розенлев-Свенсон	160	22/62	6	12,0

дующим показателям [1]: удельное количество испаряемой воды на 1 т острого пара; удельное количество испаряемой воды с 1 м<sup>2</sup> поверхности теплообмена.

Представляется целесообразным для практических целей в качестве критерия оценки испарительной способности выпарных станций использовать второй показатель  $W_y$ , т/(т · м<sup>2</sup>) [3]:

$$W_y = \frac{W}{DF},$$

где  $W$  – количество испаряемой воды;

$D$  – расход греющего пара;

$F$  – поверхность теплообмена станции.

Результаты сопоставления характеристик обследованных выпарных станций приведены в таблице.

Лучшие показатели имели станции, которые при относительно невысокой производительности обладали небольшой поверхностью теплообмена (малое количество кипяtilьных труб). Это позволило уменьшить влияние ряда нежелательных явлений, таких как тепловая развертка труб и т.д. Кроме того, при правильно выбранных и относительно небольших поверхностях теплообмена батареи значительно легче эксплуатировать [4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. т. 2 / Ю.Н. Непенин. – М.: Гослесбумиздат, 1990.

2. *Суслов В.А.* Влияние режимных параметров на интенсивность теплообмена при кипении сульфатного черного щелока в длиннотрубных выпарных аппаратах: автореф. ... канд. техн. наук / В.А. Суслов. – Л.: ЛТИЦБП, 1982.

3. *Суслов В.А.* Сопоставление тепловой эффективности выпарных станций сульфатного производства, поставляемых на предприятия ЦБП зарубежными фирмами / В.А. Суслов, В.Л. Мовсеян // Машины и оборудование ЦБП: межвуз. сб. научн. тр., вып. 5. – Л.: ЛТИ ЦБП, 1977.

4. *Gudmundson G.*, Heat transfer in industrial black liquor evaporation plants / G. Gudmundson. – Geteborg: Chalmers University of Technology, 1973.

С.-Петербургский технологический университет растительных полимеров

*V.A. Suslov*

### **Industrial Research Outcomes of Evaporating Station Modes at PPM and their Comparison according to Evaporating Efficiency**

The analysis of the operation efficiency of evaporating stations of Segezha, Svetogorsk, Arkhangelsk, Kotlas Pulp-and-paper Mills and Bratsk Forest-industrial Complex is carried out depending on thermal load, temperature drops and concentrations of the evaporated liquor; their main thermo-technical characteristics are compared according to their evaporative capacity.

---

УДК 631.3.001.4:658

**Б.Г. Мартынов**

Мартынов Борис Григорьевич родился в 1950 г., окончил в 1967 г. Ленинградский институт точной механики и оптики, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет 55 научных трудов в области разработок методов и средств технической диагностики машин.



### **ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ РЕМОНТЕ**

Показано место технического диагностирования при капитальном ремонте ЛЗМ. Рассмотрены некоторые диагностические средства, разработанные с участием автора, приведены их технические характеристики.

*Ключевые слова:* диагностирование, машина, ремонт, приборы, системы.

Одним из важных этапов капитального ремонта лесозаготовительных машин является их техническое диагностирование. В данной статье рассмотрена схема этого процесса (рис. 1). Диагностирование проводят три раза. Перед разборкой машины осуществляют диагностирование общего технического состояния агрегатов, выявляют технически исправные, не исчерпавшие свой ресурс, и неисправные. Затем выполняют поэтапное диагностирование неисправных агрегатов для определения неисправных механизмов и узлов и объема ремонтных работ. Полностью разбирают и ремонтируют только неисправные агрегаты.

Второе диагностирование проводят во время обкатки собранных после ремонта агрегатов. На этом этапе определяют условные категории качества отремонтированных агрегатов. Отремонтированная машина должна быть собрана из агрегатов равных или близких условных категорий качества, что позволяет более полно использовать технический ресурс машины.

Последнее диагностирование общего технического состояния собранной машины показывает качество ремонта.

При диагностировании целесообразно применять малогабаритные автономные приборы, основанные на универсальных диагностических методах, например виброакустическом. Одним из таких приборов является созданный нами вибротестер ЛСХИ (а.с. № 861704, 985730 и 1070441). Результатом измерения параметров вибрации могут быть как максимальная амплитуда сигнала с частотной селекцией и без нее, так и разность амплитуд двух виброакустических сигналов, что необходимо для повышения точности определения общего технического состояния двигателей и коробок

передач лесозаготовительных машин. Кроме того, прибор может преобразовывать как амплитудные, так и экстремальные значения переменного напряжения любой полярности. Погрешности измерения не превышают 5 % – с частотной селекцией сигнала и 2 % – без нее.



Рис. 1. Блок-схема технологического процесса капитального ремонта

В аграрном университете с нашим участием разработан прибор АД (анализатор вибраций диагностический), предназначенный для регистрации информации, ее передачи для дальнейшей обработки в ЭВМ, а также измерения амплитудных, средневывпрямленных значений перемещения, скорости и ускорения вибрационных сигналов. Преимущество АД перед другими приборами заключается в том, что сначала диагностическую информацию записывают в память прибора, а затем измеряют необходимые параметры. Анализатор можно использовать при движении машины с одновременным измерением перемещения, скорости и ускорения параметров вибрации. При этом повышается точность диагноза, погрешность не превышает

8 %, погрешность измерения амплитуд сигналов такая же, как и у вибротестера.

При поэлементном диагностировании необходимо применять установки, позволяющие определять место неисправности. Первой такой установкой явилась диагностическая прогнозирующая система КИ-13940-ГОСНИТИ (ДИПС), предназначенная для полной диагностики тракторов, автомобилей, комбайнов, также созданная при участии автора.

С помощью ДИПС выявляют техническое состояние машин без их разборки по 45 структурным параметрам, измеряя от 115 до 125 параметров. При этом определяют мощность двигателя, расход топлива, газов, прорывающихся в картер, частоту вращения, угол опережения впрыска топлива, проверяют работу муфты опережения подачи топлива, форсунок, цилиндропоршневой группы, газораспределительного механизма, кривошипношатунного механизма, радиатора, электрооборудования. Далее контролируют гидросистему и редукторную часть коробки передач, гидросистем рулевого управления и навесного оборудования, а затем мостов и карданных передач.

Система ДИПС состоит из блока связи БС, измерительной стойки СИ, пульта управления ПУ и цифропечатающего устройства. При диагностировании машины датчики с помощью специальных переходных устройств устанавливаются на объект диагностирования и подключаются к соответствующим входам блока связи. Затем согласно технологической карте оператор на ПУ набирает номер контролируемого параметра, мастер-диагност устанавливает необходимые режимы машины и нажимает кнопку «пуск». Система автоматически измеряет контролируемый параметр, результат высвечивается на цифровом табло и выводится на печать. Кроме этого, на передней панели ПУ имеется индикация результатов контроля измеряемого параметра, а также режимов машины в виде оценок «меньше», «норма» и «больше». Погрешности измерения электрических величин не превышают 6, параметров вибрации – 15, остальных параметров – 8 %.

В 1985 г. была запущена в серийное производство с диагностическая установка КИ-13950 (АМТ) – автоматизированный машинотестер, микропроцессорный усовершенствованный вариант системы ДИПС. АМТ состоит из блока связи БС, системного контроллера КТ и терминала ТМ; датчиков с кабелями и переходных устройств для крепления датчиков к объекту диагностирования. В АМТ имеется 63 программы измерения. В отличие от ДИПС, машинотестер не способен гибко менять программу диагностирования, но зато обладает другими преимуществами, основным из которых является графическое отображение на дисплее терминала сложных динамических процессов, происходящих в диагностируемой машине. Это могут быть вибрации проверяемых узлов и механизмов, кривые разгона двигателя, рабочего процесса в цилиндрах двигателя, нарастания давления в системе топливоподачи, гидро- и смазочной системах и др. Наличие дисплея позволяет полнее использовать при постановке диагноза знание и опыт оператора. Управление комплексом оператор осуществляет при помощи

клавиатуры, расположенной на лицевой панели ТМ. Так же, как в ДИПС, он набирает номер параметра, необходимый для диагностирования данного узла, и нажимает кнопку «пуск». Происходит обработка диагностического сигнала и вывод его характеристик на экран дисплея. При этом развертка экрана может быть по времени, частоте вращения или углу поворота коленчатого вала двигателя. При включении программы измерения амплитуд оператор может измерять амплитуду любого участка кривой, выведенной на экран. Для этого ему необходимо лишь подвести к измеряемому участку маркер дисплея с помощью специальных клавиш. Кроме этого, на экран выводится информация о наименовании марки объекта, наименовании и результате измерения параметра в единицах электрического сигнала или физической величины, диагноз в виде оценок «больше», «норма», «меньше», скоростной и тепловой режимы двигателя, а также краткая технологическая информация.

В качестве примера рассмотрим диагностирование основных деталей топливной аппаратуры. Давление, развиваемое в трубопроводе высокого давления, снимается с датчика давления, врезаемого в систему, и индицируется на экране дисплея. На рис. 2 показано измерение максимального давления, характеризующего давление впрыска форсунок. После фиксации процесса на дисплее оператор с помощью кнопок на передней панели устанавливает маркер М в необходимую точку кривой, в данном случае – 3. Измерение происходит автоматически. Кроме этого параметра, на кривой изменения давления есть еще две точки, характеризующие амплитудные значения процесса. Точка 1 – остаточное давление перед началом подачи

Тип 8. Программируемый		Вх.22
запуск по времени	$P = 17,7 \text{ МПа}$	Норма
ПРМ 14 - 00/16		
Разовый	Режим $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$	Норма



Рис. 2. Диагностическая кривая на экране терминала АМТ

топлива – характеризует состояние нагнетательного клапана и форсунки, точка 2 – давление начала впрыскивания – показывает упругость пружины

форсунки. Переводя АМТ в режим измерения длительности импульсов, для чего оператор изменяет номер параметра ПРМ на клавиатуре дисплея, можно измерить: момент начала повышения давления (точка 5, характеризующая состояние кулачка вала топливного насоса, плунжера и распределительных шестерен); момент начала впрыскивания (точка 2, показывающая состояние привода топливного насоса топливопровода высокого давления, частоту вращения кулачкового вала); длительность нарастания волны давления (участок между точками 5 и 2, характеризующий износ плунжерной пары); момент времени посадки иглы распылителя (точка 4, показывающая прекращение впрыскивания топлива); длительность импульса давления (участок между точками 2 и 4, определяющий продолжительность впрыскивания).

ДИПС и АМТ являются стационарными системами, предназначенными для комплексной диагностики машин, для них характерны быстродействие и трудоемкость диагностирования. Быстродействие показывает способность системы отслеживать динамику изменения диагностического параметра. Это особенно важно при виброакустической диагностике, где наблюдаются процессы длительностью не более десятков микросекунд. Трудоемкость непосредственно связана с затратами времени на диагностирование. Полное диагностирование трактора К-700 по 45 структурным параметрам занимает 2 ч и включает приблизительно 120...130 измерений параметров. Установку и снятие специальных переходных устройств, с помощью которых датчики крепят к объекту диагностирования, производят примерно за 1 ч 20 мин ... 1 ч 30 мин, непосредственно измерение и диагностику – за 30...40 мин.

Таким образом, при использовании этих систем необходимо определять минимальный объем диагностирования, который возможен при данном виде обслуживания или ремонта.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

*B.G. Martynov*

### **Diagnostic Means for Determining Technical Condition of Logging Machines under Repair**

Technical diagnosis place is shown in the logging machine overhaul. Some diagnostic means developed with the author's participation are considered, their specifications are provided.

---

УДК 62-233.2:681.5.001.63

*Л.И. Евельсон, Е.А. Памфилов, А.П. Симин, Е.В. Шевелева*

Евельсон Лев Игоревич родился в 1962 г., окончил в 1985 г. Брянский институт транспортного машиностроения, доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой информационных технологий Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 50 работ в области динамики и прочности машин и разработки систем автоматизированного проектирования.



Памфилов Евгений Анатольевич родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Брянский институт транспортного машиностроения, заслуженный деятель науки РФ, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой механической технологии древесины Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 250 печатных работ в области обеспечения долговечности машин и оборудования.



Симин Андрей Петрович родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Брянский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет 9 работ в области динамики и прочности машин и материаловедения.



Шевелева Елена Викторовна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, инженер кафедры механической технологии древесины Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет 17 работ в области использования модифицированной древесины и древесно-металлических композиционных материалов для изготовления подшипников скольжения.



## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ**

Предложена структура информационной системы для решения задач трибологического материаловедения и автоматизированного проектирования вкладышей подшипников скольжения на основе древесно-металлических материалов с применением экспертных систем и баз данных. Рассмотрены вопросы оценки достоверности получаемых в процессе экспертного анализа результатов.

*Ключевые слова:* подшипник скольжения, древесно-металлические композиционные материалы, экспертная система, трибологическая информационная система, автоматизированное проектирование.

Одной из важных задач проектирования подшипников скольжения является выбор материала вкладыша, обладающего наилучшими антифрикционными свойствами и износостойкостью для заданных условий эксплуатации. Для обеспечения оптимального проектирования необходимо, исходя из условий работы, выделить и систематизировать свойства материала, определяющие работоспособность подшипникового узла.

Повышение трибологических характеристик вкладышей подшипников скольжения из прессованной древесины может быть достигнуто созданием древесно-металлических композиций [1], что позволяет в значительной степени уменьшить температуру в зоне трения, повысить долговечность вкладыша по критерию износа и управлять физико-механическими характеристиками материала вкладыша. Изменяя значения различных параметров, можно подобрать наилучшее их сочетание для получения необходимой прочности, теплопроводности, диссипативных и трибологических свойств материала применительно к конкретно заданным условиям работы подшипниковых узлов деревообрабатывающего оборудования.

Для совершенствования процесса проектирования древесно-металлических подшипников скольжения предлагаем использовать экспертные оценки. Среди существующих экспертных оценок известны разработки С.М. Захарова и Д.Я. Стадникова. Дальнейшее развитие этого направления имеет перспективу в создании информационной системы, ориентированной для решения задач трибологического материаловедения и, в частности, для оптимизации свойств антифрикционных древесно-металлических материалов вкладышей подшипников скольжения. Проектируемая информационная система должна обеспечивать возможность использования баз результатов экспериментальных исследований, автоматизированной подсистемы их анализа, таблиц данных о свойствах материалов, экспериментальных установках, методиках и др. Система должна обладать способностью интеграции в систему внешних расчетных модулей и подсистему создания экспертных систем на основе имеющихся данных и расчетных моделей.

Приведенная на рис. 1 схема взаимодействия показывает необходимые связи между блоками, среди которых центральное место отведено экспертной оценке. Блок обработки результатов эксперимента содержит специализированную экспертную систему для полного анализа вводимой и существующей информации. Полученные после обработки результатов эксперимента регрессионные зависимости можно сохранить для использования в вычислениях или составления правил новой экспертной системы, что связывает блок обработки результатов эксперимента и экспертную систему пользователя.

Существует другой путь взаимодействия, выполненный через блок оптимизации результатов эксперимента. В этом случае для сохраненного и обработанного эксперимента может быть найдено оптимальное значение отклика в заданной области факторного пространства или за ее границами. Полученные результаты также могут быть использованы как значения фактов.

Наличие вычислительного блока необходимо для применения функциональных зависимостей. Несмотря на то, что использование экспертных оценок в большей мере направлено на решение трудно формализуемых задач, в которых основную роль играют качественные факты, при решении технических задач нельзя обойтись без расчетных зависимостей.

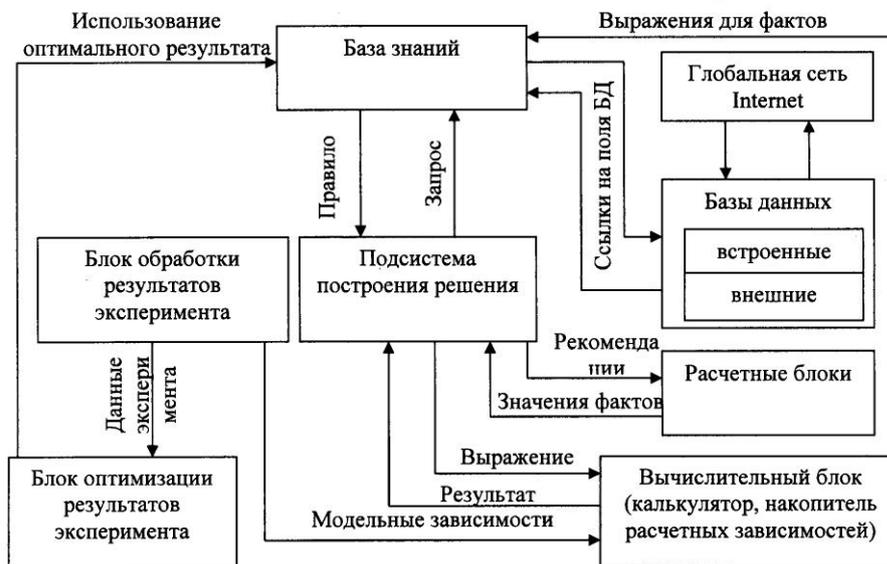


Рис. 1. Схема взаимодействия блоков информационной системы

Отсюда возникает прямая необходимость в наличии некоторого транслятора математических выражений – вычислительного блока.

Большое значение для экспертной оценки играют механизм построения решения, базы знаний и базы данных. В предлагаемой программе алгоритм построения решения составлен в соответствии с используемой моделью представления знаний и предполагает поиск прямых и обратных цепочек решения. Применяемые таблицы базы данных делятся на две категории: встроенные (или специализированные), содержащие сведения о трибологических свойствах материалов, и внешние, созданные отдельно от системы и присоединенные к ней на этапе работы с программой. Современный уровень развития глобальной сети предоставляет возможность доступа к базам данных, размещенных на FTP-серверах, что позволяет расширять существующие таблицы данных, присоединять их к системе и применять в дальнейшем для работы. Таблицы данных можно использовать для факта (фактов) информационной системы, что позволяет автоматизировать поиск

и выборку данных. Базы знаний связаны со всеми существующими блоками системы в той или иной мере и представляют собой систему знаний эксперта, которая обрабатывается основным блоком экспертной системы – модулем поиска решения.

Накопление и анализ экспериментальной информации выполняют с использованием блока обработки результатов эксперимента. Схема этого блока представлена на рис. 2.

В системе принята следующая классификация баз данных: по объемным свойствам материалов; по конструкциям узлов трения (графическая); по испытательному оборудованию; по материалам (марки, состав, технологии и т.д.); по терминам и понятиям (гlossарий); по методам лабораторных испытаний (название, показатели, методика, образцы, оборудование и т.д.). Большую роль в обработке и анализе информации играет разработанная нами экспертная оболочка. Экспертная оболочка служит для пополнения базы знаний, способа их обработки и отображения полученных результатов.



Рис. 2. Схема взаимодействия элементов блока обработки результатов эксперимента

В качестве модели представления знаний была принята продукционная модель, основанная на формировании правил типа «Если..., то ...». Поиск решения можно выполнять в прямом и обратном направлениях, при этом для получаемого результата вычисляют его достоверность (коэффициент уверенности), находящийся в пределах [0; 1].

Для определения достоверности суждения указывают весовые коэффициенты фактов и достоверность каждого правила. На достоверность поиска влияют результаты сравнения значений каждой пары фактов, для представления которых используют методы теории нечетких множеств. Учет весовых коэффициентов выполняют при определении соответствия списка фактов на этапе поиска продукции. При этом полученную на этапе сравнения достоверность делят на весовой коэффициент факта:

$$P_{\text{факт}} = \prod_i P_i / q_i.$$

Если  $p_i = 0$ , то  $P_{\text{факт}} = P_{\text{факт}}(1 - q_i)$ ,

где  $p_i$  – достоверность равенства факта;

$q_i$  – весовой коэффициент факта;

$P_{\text{факт}}$  – достоверность равенства одного набора фактов другому, причем

если  $\frac{p_i}{q_i} > 1$ , то  $\frac{p_i}{q_i} = 1$ .

Таким образом, при высоких значениях весового коэффициента вероятность выбора события уменьшается, при малых – увеличивается, но не превышает 1. Для исключения возможности выбора “продукций”, в которых факты будут иметь низкие весовые коэффициенты, необходим учет суммарного веса правила. Для этого достоверность каждой выбранной продукции умножается на относительный весовой коэффициент правила:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{факт}} \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}$$

где  $P_{\Sigma}$  – достоверность одного набора фактов другому с учетом весовых коэффициентов;

$q_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го факта.

Приведенная зависимость позволяет учитывать достоверность и степень значимости выбранной продукции, что используется при составлении дерева суждений. Вместе с тем, необходимо оценить его достоверность не только с точки зрения равенства фактов, но и с учетом коэффициента уверенности самого правила при прямом и обратном суждениях. Для такого случая достоверность дерева суждений будет определяться по формуле

$$P_i = P_{\Sigma} K_{\text{У пр/обр}} P_{i-1}$$

где  $P_i$  – достоверность текущего дерева суждений;

$P_{i-1}$  – достоверность дерева суждений на предыдущем шаге;

$K_{\text{У пр/обр}}$  – коэффициент уверенности при прямом (или обратном) суждении.

Таким образом, к моменту поиска следующего правила мы имеем значения достоверности совпадения правил и достоверность дерева суждений, что позволяет оценить правильность полученного решения на каждом шаге и в конце вычислений. На основании изложенной структуры трибологической информационной системы с использованием среды разработки C++Builder 5.0 была создана компьютерная программа, с помощью которой была разработана экспертная система выбора композиционного антифрикционного материала для изготовления древесно-металлических вкладышей подшипников скольжения деревообрабатывающих станков [2]. Опытные конструкции подшипников прошли промышленную апробацию и были рекомендованы для серийного производства.

В настоящее время в Брянской государственной инженерно-технологической академии ведется разработка экспертных систем для оптимального выбора древесной составляющей и технологии ее модифицирования, планируется создание конечно-элементной модели модифицированной древесины для оценки прочности и теплопроводности композиционных материалов, изготавливаемых на ее основе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Памфилов Е.А.* Исследование древесно-металлических композиционных материалов на основе модифицированной древесины / Е.А. Памфилов, А.П. Симин, Е.В. Шевелева // *Деревообраб. пром-сть.* – 2004. – № 1. – С. 12-15.
2. *Памфилов Е.А.* Программное средство для создания трибологических экспертных систем / Е.А. Памфилов [и др.] // *Перспективы развития лесного и строительного комплексов, подготовки инженерных и научных кадров на пороге XXI века (5–7 окт. 2000 г.): сб. информ. материалов МНТК. Ч2.* – Брянск: БГИТА, 2000.

Брянская государственная  
инженерно-технологическая академия

*L.I. Evelson, E.A. Pamfilov, A.P. Simin, E.V. Sheveleva*  
**Design of Wood-and-metal Friction Bearings**

The structure of the information system is proposed for solving problems of tribological material science and computer-aided design of friction bearing brasses based on wood-and-metal materials by using expert systems and databases. Questions of reliability rating of the results obtained in the process of expert analysis are considered.

---



## ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 630\* 658.011.54

*Л.Н. Прохоров, Л.И. Неведрова***ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ  
МЕХАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА  
(К 70-ЛЕТИЮ ВНИИЛМа)**

Механизация лесохозяйственных работ, в частности лесохозяйственное машиностроение формировались в 1935–1960 гг. XX в. Однако за этот прошедший с тех пор сравнительно небольшой исторический отрезок времени проделана значительная работа по созданию и внедрению в производство специальных лесохозяйственных машин для механизации трудоемких процессов, ранее выполнявшихся вручную. На рубеже XXI столетия в отрасли насчитывается более 200 наименований специальных лесных машин. Применение их в сочетании с заимствованными из других отраслей промышленности позволило повысить уровень механизации до 90 ... 92 % на основных работах в лесном хозяйстве и общую оснащенность отрасли техникой [2, 6, 7].

До 30-х гг. XX в. лесное хозяйство и лесная промышленность использовали ручной труд и конную тягу, с учетом которых разрабатывали машины, механизмы и орудия. Научных исследований, кроме почвообрабатывающей механики акад. В.П. Горячкина, тоже не было. Они начали появляться с созданием отраслевых НИИ, КБ, опытных станций, научно-исследовательских институтов и лесотехнических вузов. Стали организовываться факультеты и кафедры по лесному делу, а в конце 40-х гг. факультеты механизации лесного хозяйства.

Одним из первых в нашей стране был организован в 1934 г. ВНИИЛХ, переименованный в 1955 г. во ВНИИЛМ.

Развитие механизации лесохозяйственных работ тесно связано со становлением этого института. Оно прошло несколько периодов. В довоенные 1937–1940 гг. ученые института работали над созданием машин и орудий для основной обработки почвы, при уходе за лесными культурами; изучались энергетические средства. В этот период созданы, без глубоких теоретических исследований, следующие почвообрабатывающие машины и орудия:

*плуг – каток* (автор Ф.П. Белан); этот плуг впереди отвала корпуса имел каток преодоления препятствий;

*прицепная винтовая фреза* (автор Ф.П. Белан), имевшая рабочий орган в виде шнека, что позволило создавать непрерывный валик-гребень, в который вручную сажали сеянцы лесных культур;

*полунавесной двухотвальный плуг* (автор М.И. Чашкин);

*двухсекционный дисковый плуг* (авторы Н.Д. Лучинский и О.О. Сухарников), предназначенный для обработки почвы под лесные культуры в тяжелых почвенных условиях;

*навесная фреза малых габаритов* (автор Н.Ф. Конев), являющаяся одним из первых образцов машин навесного типа в лесном хозяйстве;

*канавокопатель с долотовидным рабочим органом* (автор Н.Д. Лучинский), принципиально новое решение в орудиях подобного типа; этот принцип в дальнейшем был использован при разработке канавокопателей для лесного хозяйства в ЛенНИИЛХе М.П. Албяковым и для сельского хозяйства в Беларуси М.Е. Мацепурой;

*культиватор конный с рабочими органами различных типов* (авторы Е.М. Фролов и Т.С. Дьяков);

*сеялка конная для питомников* (автор М.И. Чашкин).

Другим направлением было создание:

*обескряпывателя семян хвойных пород ОВЛС-2 и веялки* (автор П.А. Суровцев).

Изучались энергетические средства, в частности одноосные тракторы; был разработан проект узкогабаритного трактора с шириной колеи 1 м (автор В.Ф. Панюков) в целях проверки параметров такого типа трактора в условиях лесного хозяйства.

Часть перечисленных машин была выпущена сериями (ручная сеялка для питомников, обескряпыватель семян, веялка), некоторые изготовлены опытными партиями (плуг-каток, винтовая фреза, культиватор конный), а двухотвальный плуг, дисковый плуг, канавокопатели и навесная фреза доведены до опытных образцов [5]. После войны эти работы были продолжены. Активизации деятельности способствовало то, что в ведении института находился Ивантеевский экспериментальный завод (директор Н.А. Вахромеев). В успешной работе института большая заслуга принадлежала руководителю сектора механизации проф. В.В. Гуману и руководителям Главлесоохраны при СНК СССР Г.П. Мотовилову и Л.А. Кошечеву.

В предвоенный период (ноябрь 1938 г.) по заданию Главлесоохраны институт организовал и провел большие межведомственные испытания лесокультурных машин и орудий, эксплуатировавшихся в лесном хозяйстве. По их результатам отобрано 28 наименований машин и орудий для производства и дальнейшего совершенствования.

К сожалению, столь эффективное развитие механизации лесного хозяйства было прервано войной. Большая часть сотрудников ушла на фронт, а оставшиеся занимались военной тематикой.

Лабораторией механизации в 1940–1942 гг. руководил инженер-конструктор Е.М. Фролов. В 1942 г. лабораторию переименовали в сектор, который возглавил Б.М. Шмелев (1942–1947 гг.). Тематику сектора механизации определяли требования военного времени. По заданию Инженерного комитета Красной Армии сотрудниками института были разработаны:

*трехшпиндельный бур* (Н.Ф. Канев) для производства ям под кольца проволочных ограждений;

*траншейный окопкопатель ОП-2* (Б.М. Шмелев и Ф.А. Лобанов);  
*дернорез Д-5К* (Н.Ф. Канев и др.) для заготовки дерна при летней маскировке различных фортификационных сооружений.

В послевоенный период научные исследования развивались в несколько этапов, каждый из которых оказал неоднозначное влияние на результаты работ. В первые послевоенные годы институт продолжал конструировать машины и орудия, но испытывал большие трудности из-за недостатка квалифицированных кадров механизаторов и отсутствия необходимых конструкционных материалов для изготовления даже опытных образцов.

В эти годы были разработаны ручные и тракторные корчевальные машины и доработаны конструкции машин, созданных до войны.

В 1949 г. Ивантеевский экспериментальный завод передали Минтракторсельмашу, а на институт возложили только разработку лесотехнических требований к новым машинам по заявкам лесохозяйственных предприятий. В этот период результативность работ резко снизилась, так как разработка лесотехнических требований часто не подкреплялась экспериментальными материалами.

Период застоя продолжался недолго; в 1955 г. Постановлением ЦК КПСС и Совмина СССР институту возвратили право заниматься конструированием машин. Были созданы специальное конструкторское бюро (СКБ) и производственно-экспериментальные мастерские (ПЭМ), которые в 1959 г. переведены на полный хозяйственный расчет. В этот период создано около 40 наименований новых машин, орудий и приспособлений, часть из которых рекомендована в серийное производство [1, 3, 5].

В 1955–1960 гг. выпускались серийно следующие машины и оборудование:

*навесная система НЗ-2* (Е.М. Миндель и Г.А. Котомина) к трелевочным тракторам ТДТ-40 и ТДТ-40М, предназначенная для их использования на лесовосстановительных работах;

*фреза лесная навесная ФЛН-0,8* (Н.Ф. Канев) для обработки почвы под лесные культуры и содействия естественному возобновлению, повышающая производительность труда в 20–25 раз по сравнению с ручным. Это первая навесная фреза, не имевшая в то время аналогов;

*вычесыватель корней ВК-1,7* (П.П. Корниенко), используемый при подготовке лесных площадей под лесные культуры, сельскохозяйственное пользование, питомники и плантации;

*ручная сеялка СЛР* (Д.Д. Любич) для посева семян хвойных пород в условиях, не пригодных для механизированного посева, производительность до 12 тыс. посевных мест за смену;

*рыхлитель лесной дисковый РЛД-2* (Ф.М. Курушин) для обработки почвы с одновременным посевом лесных семян на свежих нераскорчеванных вырубках и под пологом леса, повышающий производительность труда по сравнению с ручным в 30 раз;

*ручной моторизированный бурав* (А.М. Баранов) для подготовки посадочных ям при создании лесных культур, его производительность до

2 тыс. ям в смену, что в 2,5–3,0 раза выше по сравнению с использованием бурава Розанова;

*лесной комбинированный плуг ПКЛ-70* (Ф.М. Курушин совместно с изобретателями Ветлужско-Унжинского лесхоза) для обработки почвы под лесные культуры на нераскорчеванных вырубках, повышающий производительность труда в 15–20 раз по сравнению с ручной обработкой;

*ручной моторизованный рыхлитель РМР* (Н.Ф. Канев и И.С. Алиев) для обработки почвы площадками; его производительность до 400 м<sup>2</sup> в смену, что в 2,5–3,0 раза выше по сравнению с ручным трудом;

*плуг лесной полосной ПЛП-135* (Н.И. Попцов) для обработки почвы широкими полосами на нераскорчеванных вырубках в условиях повышенного увлажнения, его производительность до 8 га в смену при интервале между полосами 3–4 м. До настоящего времени периодически выпускается серийно;

*выкопачная скоба НВС-1,2* (Г.Б. Климов) для выкопки посадочного материала в питомниках, повышающая производительность труда в 1,5–2,0 раза по сравнению с выкопачным плугом ВПН-2;

*культиватор лесной дисковый навесной ДЛКН-6/8* (конструкция СКБ института) для обработки почвы на вырубках и под пологом леса в целях содействия естественному возобновлению, а также для ухода за лесными культурами и при полезащитном лесоразведении;

*сеялка навесная для питомников СЛШ-4* (Г.А. Ларюхин) для посева семян в питомниках, которая снижает затраты труда по сравнению с конной в 5 раз;

*передвижной моторизованный агрегат ПМА-1* (А.А. Лаубган и В.А. Мальчиков) для проведения рубок ухода в молодняках и ухода за лесными культурами, со сменными рабочими органами: пильным диском, мотокопкой, мотобуравом, рыхлителем с буравом. Повышает производительность труда в 2–9 раз в зависимости от рабочего органа;

*лесопосадочная бороздная машина СБН-1* (В.В. Чернышов) для работы на нераскорчеванных вырубках по бороздам, проложенным плугом ПКЛ-70 или ПЛП-135, а также без корчевки и предварительной обработки почвы на незадернелых вырубках с числом пней до 400 шт./га;

*сеялка лесная дисковая СЛД-2* (Г.А. Ларюхин) для посева семян хвойных пород по пластам;

*культиватор бороздной КБЛ-1,7* (Г.Б. Климов, Е.И. Пожилов) к трехколесному трактору ТДТ-40 для ухода за лесными культурами по плужным бороздам на вырубках. Этот культиватор повышает производительность труда в 15–20 раз по сравнению с ручным трудом, выпускается серийно периодически до настоящего времени;

*террасер Т-4* для сооружения террас на склонах до 40 °;

*рыхлитель террас ТР-2* для рыхления полотна террас на глубину до 45 см;

*рыхлитель почвы площадками РПП-0,7* для подготовки посадочных мест на лесокультурной площади до 20 тыс. площадок за смену. Три последних орудия разработаны коллективом СКБ института;

*сеялка-культиватор* (Г.А. Ларюхин, Г.Б. Климов, П.Н. Пряхин) для раздельного посева семян по дну борозд двухотвального плуга ПКЛ-70;

*лесопосадочная машина* для террас с некаменистой почвой и *посадочное приспособление к плугу ПКЛ-70* (В.В. Чернышов), повышающие производительность труда в 6–7 раз;

*управляемый трелевочный прицеп ПТУ-1* (Е.Н. Шахов, В.П. Мореев) для трелевки древесины от рубок ухода за лесом и лесовосстановительных рубок. Прицеп агрегируется с тракторами ДТ-20 и МТЗ-52, повышает производительность труда в 2,5–3,0 раза по сравнению с конной трелевкой;

*приспособление для прерывистого бороздования на склонах* (И.С. Алиев), предупреждающее эрозию почв;

*самоходный трелевочный агрегат СТА-1* (Е.Н. Шахов, В.П. Мореев) грузоподъемностью до 0,75 м<sup>3</sup>, предназначен для вывозки крупного леса диаметром до 30 см и длиной до 6 м, а также тонкомера, дров и хвороста с увязкой последнего в пучки, повышает производительность труда по сравнению с конной трелевкой в 2,5–3,0 раза;

*мотополольник ПМР* (Н.Ф. Канев) для ухода в рядах лесных культур;

*сеялки к плугу ПКЛ-70* (Г.А. Ларюхин, П.Н. Пряхин) для посева семян в дно борозды за двухотвальным плугом, в пласт за одноотвальным плугом;

*лазы* (Е.Н. Шахов) – комплект приспособлений для подъема на дерево при сборе семян с растущих деревьев, обрезке сучьев и заготовке прививочного материала.

В 1961–1962 гг. в процессе исследований, выполненных П.П. Корниенко и А.В. Усановым, в СКБ института созданы два варианта лесопосадочной машины с автоматической подачей семян для работы в условиях нераскорчеванных вырубок. Техническая документация по одному варианту была передана в ГСКБ Кировского механического завода (г. Киров) для разработки опытного образца; второй вариант разрабатывался в СКБ института, опытный образец успешно прошел ведомственные испытания в 1963 г. [3, 4, 9].

В 1955–1956 гг. коллективом научных сотрудников института в сотрудничестве с представителями других научных учреждений и производства была разработана первая Система машин (СМ) для комплексной механизации в лесном хозяйстве. Разработчиками СМ были Ф.М. Курушин, Д.Т. Ковалин и П.Ф. Федоров [8]. На основе этой СМ создавались новые машины и орудия, модернизировались существующие.

Быстрое развитие механизации и автоматизации в сельском хозяйстве потребовало усовершенствовать системы машин. Приказом Государственного комитета СМ СССР по автоматизации и машиностроению и Министерства сельского хозяйства СССР от 25 мая 1960 г. было предусмотрено

усовершенствовать систему машин для сельского хозяйства. По лесному хозяйству эта работа возлагалась на ВНИИЛМ. Коллектив института (Д.И. Дерябин, Г.А. Ларюхин, Е.Н. Шахов, П.Н. Пряхин, А.И. Корниенко, Н.П. Калиниченко) разработал по существу новую систему машин [1, 5]. Это позволило определить основные направления по созданию новой техники на ближайшую и длительную перспективы, расширить номенклатуру тематики выполняемых НИОКР, развернуть систему подготовки кадров механизаторов.

Первая и последующие СМ сыграли важную роль в определении технической политики развития лесного хозяйства. Система машин стала главным ориентиром формирования актуальных направлений исследований в инженерной сфере и более рационального использования научного, производственного и финансового потенциала НИИ, КБ и отрасли в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Букштынов А.Д.* Некоторые итоги работ Всесоюзного научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства / А.Д. Букштынов // Сб. работ по лесному хозяйству. – М.: Гослесбумиздат, 1960. – С. 5–21.
2. *Казаков В.И.* Состояние и перспективы оснащения техническими средствами лесхозов МПР России / В.И. Казаков, Л.Н. Прохоров, В.Г. Шаталов // Интеграция науки и высшего лесотехнического образования, инновационная деятельность на предприятиях лесного комплекса: матер. науч.-практ. конф. с междунар. участием 24–26 сент. 2002 г.: в 2 т. – Воронеж: ВГЛТА, 2002. – Т. 1. – С. 56–59.
3. *Казаков В.И.* О концепции развития механизации лесного хозяйства и лесохозяйственного машиностроения / В.И. Казаков, Л.Н. Прохоров // Вестн. Центр.-Черноз. регион. отд. наук о лесе РАЕН. – Воронеж, 2002. – Вып. 4, ч. 2. – С. 244–246.
4. *Курушин Ф.М.* Механизация лесовосстановительных работ на вырубках / Ф.М. Курушин, С.Г. Русанов, П.П. Корниенко // Сб. работ по лесн. хоз-ву. – М., 1960. – С. 206–229.
5. *Ларюхин Г.А.* Итоги и перспективы работ по механизации лесного хозяйства / Г.А. Ларюхин, П.П. Корниенко // Там же. – М., 1964. – С. 89–108.
6. *Лосицкий К.Б.* Важнейшие итоги научной деятельности института за 30 лет / К.Б. Лосицкий // Там же. – С. 3–49.
7. *Прохоров Л.Н.* Технические аспекты развития механизации лесного хозяйства и лесохозяйственного машиностроения на современном этапе / Л.Н. Прохоров // Лесн. хоз-во. – 2003. – № 1. – С. 44–45.
8. *Прохоров Л.Н.* Развитие процесса механизации лесокультурных работ / Л.Н. Прохоров // Лесн. хоз-во. – 2003. – № 4. – С. 43–47.
9. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства. Лесное хозяйство и полезационное лесоразведение. – М., 1956. – Вып. 16. – 84 с.

ВНИИЛМ

*L.N. Prokhorov, L.I. Nevedrova*

**History of Becoming and Development of Forestry  
(to 70<sup>th</sup> Anniversary of All-Russia Scientific-research Institute  
of Silviculture and Forestry Mechanization)**

---

УДК 630\*902

*Р.В. Бобров*

### **СПЕЦИАЛИСТЫ, КОТОРЫХ ЗАМЕНИТЬ НЕЛЬЗЯ**

Слова заголовка относятся к лесничим, на самом высоком уровне. К сожалению, они не воплощены в действительность. Отношение к лесничим со временем менялось не в лучшую сторону.

Роль лесничих в истории лесного хозяйства нашей страны связана с именем императора Николая I. При нем общественный статус российских лесничих приблизился к уровню стандартов европейских стран, где лесные чиновники назначались исключительно королевскими указами.

На практике реализовать столь высокое государственное доверие могли только хорошо подготовленные специалисты. Поэтому император часто посещал Лесной институт, возлагая на его воспитанников немалые надежды и предъявляя высокие требования к их подготовке. По императорскому указу Лесной институт был приравнен к военному училищу, в котором учиться и служить было престижно и материально выгодно.

Немало полезного сделал Николай I и по упорядочению лесной службы в стране. По его указу в июне 1826 г. казенные леса России были разделены на округа во главе с окружными лесничими. Округа, в свою очередь, поделены на уездные лесничества (форсты), а последние на лесные участки. В 1839 г. был образован Корпус лесничих и утверждено Положение о нем.

К сожалению, ни Николай I, ни его преемники Александр II и Александр III не получили в нужном количестве высокообразованных, предприимчивых лесничих. О хорошо профессионально подготовленных лесничих в XIX в. приходилось только мечтать. Единственный в стране Лесной институт (в конце XIX в. к нему добавилось лесное отделение Ново-Александровского института) до революции выпускал в год чуть более ста специалистов с высшим образованием. В 42 лесных школах России занимались при лесничествах по 15 ... 20 воспитанников, получавших низшее лесное образование. Даже с их учетом не хватало специалистов на 0,5 млрд га казенного леса и почти такую же площадь частных лесов. Обязанности лесоводов нередко выполняли домашние учителя, землемеры, отставные военные.

В лесное ведомство шли с меньшей охотой, чем в другие, так как труд у лесоводов был нелегким, а бытовые условия и того труднее. Необходимое образование имел только каждый пятый казенный лесничий. После гражданской войны их в России остались единицы. Уехали лесоводы-немцы, составлявшие около половины Корпуса лесничих, да и русские лесоводы не стали ждать повестки в местные ЧК. В Белоруссии в 1925 г. при потребности в 325 лесных специалистах с высшим образованием было только 7 лесоводов, в Казахстане на лесных должностях работали 12 дипломированных лесоводов. Не лучше обстояло дело и в других регионах России.

Лес в то время уже стал «первичным капиталом», за счет которого предстояло поднимать разрушенные революцией и войной предприятия, проводить индустриализацию страны, строить новое государство. Для этого нужны были специалисты.

В 1920-х гг. к С.-Петербургскому и Ново-Александрйскому лесным институтам добавились еще около десяти лесных вузов и полсотни лесных и лесопромышленных средних учебных заведений. К началу 1990-х гг. в высших лесных учебных заведениях учились 19 тыс. студентов, столько же в техникумах, ежегодно выпускалось 2,7 тыс. инженеров и 5 тыс. техников. В лесном хозяйстве страны работали 83 тыс. специалистов, в том числе 30 тыс. с высшим образованием. В целом по России из 7,6 тыс. лесничих высшее образование было у 32,6 %, но они в основном оседали в теплых южных краях, уходили в другие ведомства; 61 % лесничих, работавших в таежных областях, имели среднее образование.

Большая часть дипломированных инженеров после окончания учебных заведений оказывалась поблизости от родного института или родительского дома. В крупных городах они находили работу в проектных и научно-исследовательских институтах, управленческих структурах. Управление лесным хозяйством XX в. можно представить образно в виде перевернутого конуса. Самая объемная его часть приходилась на управленческие структуры, проектные и исследовательские институты. В профессиональном отношении она была хотя и неплохо подготовленной, но в конкретном лесном производстве мало искушенной. Основная тяжесть лесного труда ложилась не на инженеров, а на лесных техников, которые из-за дефицита профессиональных знаний и недостаточного общего образования в лучшем случае могли стать добросовестными исполнителями различных инструкций и наставлений, составленных лесными учеными и чиновниками в городских кабинетах. В Архангельской области в начале 1990-х гг. непосредственно в лесничествах и на лесопунктах трудились не более 15 % специалистов с высшим образованием, немногим больше в соседних республиках и даже почти столичной Ленинградской области.

Нехватка образованных исполнителей на рабочих местах в лесу сказывалась отрицательно на лесном производстве. Лесная наука и передовой опыт не стыковались на конечном этапе, определяющем успех лесных отраслей. Это же наблюдалось и в XIX в. Однако наши далекие предшественники проявляли большую заинтересованность в устранении кадровых перекосов. Министр государственных имуществ России М.Н. Муравьев еще в середине XIX в. установил лесничим надбавки к жалованию за непрерывную службу в лесничестве. Они удваивались каждые пять лет, и через 10 лет непрерывной работы лесничий получал уже двойное жалование. Существовала негласная надбавка и «за вид из окна». Лесничий, работавший в глухой тайге, получал больше, чем служивший в городе или удобной для проживания местности. В какой-то мере это способствовало улучшению кадрового состава лесных специалистов на местах.

К сожалению, все хорошее, имевшее место в управлении производством в XIX в., воспринималось негативно в XX в. Более того, лесные отрасли постоянно лихорадило от ведомственных реорганизаций. Лесные специалисты при этом чаще всего оказывались в роли потерпевших: при объединении с лесной промышленностью лесничих определяли в техноруки и начальники лесопунктов; при слиянии с сельским хозяйством отправляли на работу в колхозы, совхозы и т. д. Не принесла значительного улучшения и последняя «перестройка». Сокрушительный удар по собственной отрасли нанесло руководство Федеральной лесной службой, переадресовав выполнение лесных работ от лесничих к самим лесопользователям. Специалисты лесного хозяйства из квалифицированных лесных прорабов переквалифицировались в чиновников по контролю за лесными арендаторами, пока еще мало заинтересованными в лесохозяйственных работах. Оттого и пожары в стране утроились, а отпуск леса сократился вчетверо. У опытного лесничего лесной пожар не такая частая стихия. Он знает, где проложить противопожарные разрывы, куда в жаркие дни лучше направить людей. И лесные посадки у грамотного лесничего не сохнут, а отведенные в рубку делянки не ждут годами потребителя.

Чтобы улучшить лесное хозяйство в XXI в., следует вспомнить век XIX, позаботиться о привлечении в лесные учебные заведения истинных любителей леса и совершенствовать работу самих учебных заведений. Оценивать ее пора не только по учебным баллам, но и по закреплению воспитанников институтов и колледжей на рабочих местах, непосредственно связанных с лесным производством.

Необходимо определить функции службы лесного хозяйства в арендованных лесах. Без опытных лесоводов здесь не обойтись. Арендаторы могут найти специалистов в государственных лесничествах, если будут хорошо оплачивать работу.

Много ошибок было допущено в лесных отраслях, теперь важно не делать новых. Сколь бы заманчивой не казалась идея отдельного лесовладения и ведения лесного хозяйства, осуществлять ее следует очень осмотрительно, тщательно взвешивая российские реалии, особенно крайний дефицит квалифицированных специалистов лесного дела непосредственно на рабочих местах в лесу.

Российское лесное хозяйство имеет богатейший исторический опыт. Прежде чем предпринимать что-то новое, надо хорошо изучить старое и взять из него все лучшее.

г. Москва

*R.V. Bobrov*

**Specialists that couldn't be Replaced**

---

---



## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630\*62(049.3)

*М.Д. Мерзленко***НОВАЯ КНИГА О ПРОБЛЕМАХ ЛЕСНОГО ДЕЛА**

Вышла в свет монография А.И. Писаренко и В.В. Страхова «Лесное хозяйство России: от пользования к управлению» (М.: Изд. дом «Юриспруденция», 2004. – 552 с.). В этой объемной книге рассматриваются актуальные вопросы состояния нашего многострадального русского леса. Она содержит объективный исторический обзор основных положений теории и политики лесного хозяйства России на фоне развития отечественной и мировой лесной науки и экономики с акцентом на роль государства.

Авторы посвятили книгу лесничим России. Но по многоплановости содержания и характеру изложения материала она также необходима студентам, аспирантам, докторантам, ибо по сути является настоящим учебным пособием. Полезна она и ученым, в круг интересов которых входит системный анализ развития лесного сектора и лесной торговли России и Мира. О широте излагаемого материала достаточно ясно свидетельствует перечень глав книги: «Лес и Мир»; «Лес и наука»; «Лес и Россия»; «Государство и лесное хозяйство в России»; «Основные положения теории лесного хозяйства в России»; «Лесной сектор экономики России и его рынки»; «Новые возможности использования древесины»; «Переход от пользования лесом к управлению лесом». Жаль, что книга не завершается заключением, но это не столь необходимо, ибо она рассчитана на читателя, умеющего мыслить и анализировать прочитанное.

В книге представлен ретроспективный обзор становления отечественного лесного хозяйства, дан анализ процессов истребления лесов в Мире и в России, изложен опыт лесных концессий в России XX в., показаны причины и этапы развития существующих незаконных лесозаготовок, изучены тенденции европейского и азиатско-тихоокеанского рынков лесоматериалов, дан прогноз их емкости для лесной продукции России.

Авторы убедительно показывают, что успех сохранения лесов и развития доходного лесного хозяйства России зависит от системного решения проблемы взаимоотношений государственного лесного хозяйства с частными предприятиями лесопромышленного комплекса на основе государственных стимулов и мотиваций развития внутреннего рынка лесоматериалов и государственного регулирования экспорта необработанной древесины. Красной нитью через всю книгу проходит значимость государственного управления лесами. Объективно отмечено, что рыночная модель экономического развития неадекватна законам природы.

Квинтэссенцией монографии является новая парадигма взаимоотношений человека с лесными экосистемами, которая не допускает дальнейшего развития эффективного лесного хозяйства, основываясь только на идее пользования лесными ресурсами, ибо лес на нашей планете – это прежде всего сложно устроенная экологическая система, а не средство производства древесины, т. е. экосистема первична, а древесное сырье вторично. Поэтому практические шаги реализации такого понимания лесов в современном мире неизбежно приводят к необходимости перехода от простого пользования лесом на конкретной территории к ответственному управлению лесом в рамках сложившихся экосистем. Осознавая, что нужна новая идеология лесного хозяйства (теория лесного хозяйства и политика страны в отношении национального лесного богатства), авторы сделали попытку наметить контуры этих решений.

Имеющиеся неточности в некоторых датах и персоналиях, повторы текста не умаляют ценности монографии, в которой авторами выдвинут ряд новых положений и содержится весьма интересная информация.

Московский государственный  
университет леса

*M.D. Merzlenko*

**New Book on Problems of Forest Business**

---

УДК 630\*2(049.3)

*Д.В. Трубин*

### **ПУТЕВОДИТЕЛЬ В НОВЫЙ ЛЕС\***

Вышло в свет практическое пособие по рубкам ухода за лесом на Европейском Севере, написанное известными северными лесоводами Г.А. Чибисовым, Н.И. Вялых и Н.С. Мининым.

Рецензируемая работа чрезвычайно своевременна и актуальна по ряду причин. Во-первых, на рубеже веков площадь и масса вторичных лесов, в которых можно и нужно проводить рубки ухода, достигла некой критической величины, при которой промежуточное пользование (ПП) становится соизмеримым с главным использованием (ГП). Соотношение возможных объемов рубок ухода и рубок главного пользования стремительно меняется. За последние 30 лет действующая лесосека по ГП в Архангельской области уменьшилась с 27 до 20 млн м<sup>3</sup> и в перспективе снизится еще на 3...5 млн м<sup>3</sup> в связи с необходимостью выполнения международных обязательств в рамках «Рио-92», а также продолжающейся практикой выборки лучших участков эксплуатационного фонда при освоении лесопромышленниками своих лесных угодий. Ресурсы ПП, наоборот, интенсивно растут. Если в 1960-х гг. они составляли примерно 0,5 млн м<sup>3</sup> в год, то по оценкам 1992 г. равнялись уже 4,9 млн м<sup>3</sup>. Сейчас они могут составлять 7-8 млн м<sup>3</sup>, а через 10 ... 20 лет с учетом взросления молодняков и перехода их в наиболее продуцирующую стадию достигнут 10 ... 15 млн м<sup>3</sup>. В освоенных лесхозах по данным леоустройства последних лет ресурсы ПП уже превысили лесосеки ГП. Так, в Обозерском лесхозе ежегодный возможный объем рубок ухода составил 411 тыс м<sup>3</sup>, а лесосека по главному использованию – 238 тыс м<sup>3</sup>, в Пуксоозерском лесхозе соответственно 266 и 147 тыс м<sup>3</sup>.

Во-вторых, ресурсы ПП имеют существенные транспортные преимущества, поскольку подростные леса приурочены к давно существующей транспортной инфраструктуре и находятся в ближней зоне хозяйственной деятельности, тогда как места проведения рубок ГП в последнее время сильно удалены от центров переработки. В связи с этим соотношение экономически доступных ресурсов ПП и ГП уже в ближайшей перспективе будет равно 1 : 1. Кроме того, ПП приобретает особое социальное значение как сфера приложения невостребованных трудовых ресурсов в сельской местности. Рубки ухода вместе с лесовосстановительной деятельностью могут обеспечить работой часть населения, которое оказывается «за воротами» вследствие спада объемов лесозаготовок, внедрения в лесозаготовительные процессы современных многооперационных машин, а также кризиса в сель-

---

\* Чибисов Г.А. Рубки ухода за лесом на Европейском Севере: практ. пособие / Г.А. Чибисов, Н.И. Вялых, Н.С. Минин. – Архангельск, 2004. – 128 с.

ском хозяйстве. Особенно актуально это для лесных поселков, где нет альтернативы занятости кроме лесохозяйственной деятельности.

Данная работа представляется важной составляющей частью лесоводственных основ, необходимых для организации всего комплекса ПП. Авторы предлагают конкретные меры по совершенствованию нормативной базы проведения рубок ухода. На с. 14 они совершенно справедливо отмечают, что деление рубок ухода на четыре вида практически затруднено, теоретически очень условно, а их жесткие временные рамки не уместны. По результатам научного анализа предлагается два логичных этапа проведения уходов: лесовосстановительный и лесоводственный. Развивая такие подходы, авторы на с. 81 делают вывод о необходимости стирания грани между главным и промежуточным использованием и разработки единой системы рубок, что позволило бы значительно усовершенствовать и унифицировать всю систему лесопользования. В современных условиях грань эта не имеет ни лесоводственного, ни экономического смысла, а представляет лишь административный барьер на пути развития лесного комплекса.

Оригинальны программы рубок ухода, разработанные на зонально-типологической основе для всех наиболее представленных категорий насаждений. Они сопровождаются исчерпывающими нормативами и обогащены эскизами таблиц хода роста с количественными параметрами возможной выборки древесины и ее товарной структурой.

Подробно рассмотрены технологические вопросы организации и проведения рубок ухода. Они увязаны с имеющимися техническими средствами и технологическими приемами главного пользования.

Пособие представляет собой итог примерно 40-летних исследований, проводившихся в Северном научно-исследовательском институте лесного хозяйства под руководством его автора Г.А. Чибисова. Это одно из главных направлений в работе института, которое проходит по важнейшей проблеме таежного лесоводства – возвращению молодых лесов после эпохи тотальных концентрированных рубок. Основные выводы авторов полностью корреспондируют с теми положениями по лесовыращиванию, которыми пользуются в странах с развитым лесным сектором экономики, где добились выдающихся успехов в лесопользовании. Хотелось бы надеяться, что этот итог послужит научной основой для ширококомасштабных сначала опытно-экспериментальных, а в дальнейшем производственных работ на новом, более цивилизованном этапе лесопользования.

Департамент  
лесопромышленного комплекса  
администрации Архангельской области

*D.V. Trubin*

**Guidebook for New Forest**

---

УДК 630\*902(049.3)

*А.М. Копейкин*

### **КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В КУЛЬТУРАХ\***

Вышла в свет новая книга В.И. Мелехова, Н.А. Бабича, С.А. Корчагова, посвященная изучению проблемы создания на севере России искусственных насаждений одной из основных хвойных пород – сосны.

В этой работе удачно сочетаются исторический очерк развития исследований, подробное описание методики работ, их экспериментальное воплощение и достигнутые на практике результаты. По своему содержанию книга выходит за рамки специализированного издания для работников лесного хозяйства, большая часть информации полезна для технологов по переработке древесины, поскольку содержит сведения о качественных характеристиках древесины сосны, ее строении во взаимосвязи с условиями и местом произрастания, форме и сучковатости стволов.

Материал изложен доходчиво простым и выразительным языком, который понятен не только специалистам лесного хозяйства, аспирантам и студентам, но и всем, кого интересует наша северная природа.

Единственным недостатком книги является отсутствие сведений об ученых, на которых авторы ссылаются в своей работе и которые составили историю отечественной лесной науки.

Архангельский государственный  
технический университет

*А.М. Копейкин*

**Quality of Pine Wood in Cultures**

---

\* Мелехов В.И. Качество древесины сосны в культурах / В.И. Мелехов, Н.А. Бабич, С.А. Корчагов. – Архангельск. – 2003. – 110 с.



УДК 06.091

## ЮБИЛЕЙ ИВАНА ИВАНОВИЧА ГУСЕВА

Исполнилось 75 лет со дня рождения и 50 лет научно-педагогической деятельности заслуженного деятеля науки Российской Федерации, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации, академика РАЕН, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заведующего кафедрой лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета Ивана Ивановича Гусева.



И.И. Гусев родился 7 марта 1930 г. в с. Нижняя Верея Выксунского района Горьковской области в семье лесничего. После окончания в 1948 г. с отличием Муромцевского лесного техникума (Владимирская область) работал лесным техником, помощником лесничего, инженером-таксатором.

В 1953 г. Иван Иванович окончил с отличием лесохозяйственный факультет Архангельского лесотехнического института. С тех пор вся его трудовая биография связана с АЛТИ – АГТУ: ассистент, доцент, профессор, с 1970 г. заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства. В течение многих лет он преподает лесную таксацию – одну из ведущих дисциплин лесохозяйственного факультета. Им подготовлены сотни инженеров для лесного хозяйства Севера, опубликовано множество учебных и методических пособий.

По результатам многолетних научных исследований И.И. Гусев в 1962 г. успешно защитил кандидатскую, а в 1979 г. докторскую диссертацию на тему «Научные основы таксации еловых древостоев Европейского Севера». Им создана научная школа, его ученики успешно работают на кафедре лесной таксации и лесоустройства АГТУ. Научная деятельность Ивана Ивановича связана с исследованием закономерностей роста, продуктивности и структуры таежных лесов, комплексного и рационального использования лесных ресурсов, разработкой нормативно-справочного материала для лесного хозяйства Европейского Севера. Составленные им нормативы нашли широкое применение в лесоустроительных экспедициях, лесхозах и

леспромхозах. Им опубликовано более 160 научных работ. По результатам конкурса научно-исследовательских и внедренческих работ он удостоен звания лауреата Второй премии им. М.В. Ломоносова за 2001–2002 гг.

Иван Иванович является членом редколлегии «ИВУЗ, Лесного журнала», межвузовского сборника «Лесная таксация и лесоустройство», руководителем научного направления лесохозяйственного факультета АГТУ, членом ряда диссертационных и методических советов. За многолетнюю безупречную работу и большой вклад в лесную науку Севера И.И. Гусев награжден медалями «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «50 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «Ветеран труда», знаками «За сбережение и приумножение лесных богатств РСФСР», «За отличные успехи в работе».

Поздравляем Ивана Ивановича со славным юбилеем, желаем ему доброго здоровья, новых творческих успехов, личного счастья.

**Ректорат и коллектив  
лесохозяйственного факультета  
Архангельского государственного  
технического университета,  
редколлегия и редакция  
«Лесного журнала»**

*Administration of Arkhangelsk State Technical University  
and Collective of the Forestry Faculty, Editorial Board  
and Editorial Staff of “Lesnoj Zhurnal”*

**Jubilee of Ivan I. Gusev**

---

---