

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

---

# Лесной журнал

**Научный журнал**

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

1/331

2013

ИЗДАТЕЛЬ – СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **В.И. Мелехов**  
Заместители главного редактора:  
д-р с.-х. наук, проф. **Н.А. Бабич**,  
д-р хим. наук, проф. **К.Г. Боголицын**  
Ответственный секретарь – засл. работник культуры РФ **Р.В. Белякова**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р биол. наук, проф. **В.П. Бессчетнов**; д-р техн. наук, проф. **П.В. Билей**; д-р техн. наук, проф. **А.В. Воронин**; д-р техн. наук, проф. **Е.Д. Гельфанд**; д-р с.-х. наук, проф. **С.В. Залесов**; д-р техн. наук, проф. **А.А. Камусин**; д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**; д-р биол. наук, проф. **И.Т. Кищенко**; д-р техн. наук, проф. **В.С. Куров**; д-р техн. наук, проф. **В.И. Малыгин**; д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. Матвеева**; д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. Мерзленко**; д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мясичев**; д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. Наквасина**; д-р техн. наук, проф. **А.Н. Обливин**; д-р техн. наук, проф. **В.И. Онегин**; д-р техн. наук, проф. **Е.А. Памфилов**; д-р с.-х. наук, проф. **Е.М. Романов**; д-р с.-х. наук, проф., чл.-кор. РАСХН **М.В. Рубцов**; д-р техн. наук, проф. **В.Г. Санаев**; д-р биол. наук, проф. **А.В. Селиховкин**; д-р техн. наук, проф. **В.В. Сергеевичев**; д-р с.-х. наук, проф. **А.М. Тараканов**; д-р техн. наук, проф. **Б.Н. Уголев**; д-р техн. наук, проф. **Ф.Х. Хакимова**; д-р с.-х. наук, проф. **В.Л. Черных**; д-р техн. наук, проф. **Ю.А. Ширнин**; проф. **Х.-Д. Энгельманн**

---

«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, информацию 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» № 1/331

Подписной индекс 70368

Редактор Л.С. Окулова  
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой, Е.Б. Красновой  
Перевод С.В. Бирюковой  
Графическое оформление В.А. Титовой

---

Сдан в набор 26.11.2012. Подписан в печать 12.02.2013. Заказ № 1046  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,758. Усл. кр.-отт. 13,758.  
Уч.-изд. л. 18,589. Тираж 1000 экз. В розничную продажу не поступает.  
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

---

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

---

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС77-45647 от 05.07.2011.

Издательско-полиграфический центр им. В.Н. Булатова  
ФГАОУ ВПО САФУ  
163002, г. Архангельск, ул. Урицкого, 56



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

|  |    |
|--|----|
| <i>Н.А. Луганский, А.В. Сулов.</i> Динамика прироста сосны обыкновенной в условиях автотранспортного загрязнения (г. Екатеринбург).....  | 7  |
| <i>Д.А. Добрынин, В.В. Петрик.</i> Лесные экосистемы Архангельской области, характеризующиеся высокой природоохранной ценностью.....   | 12 |
| <i>В.С. Писанов, А.К. Мухин.</i> Динамика зеленомошных сосняков в зоне косвенного влияния Рыбинского водохранилища.....  | 16 |
| <i>М.П. Воронов, В.А. Усольцев, В.П. Часовских, И.С. Лазарев, Н.В. Сенчило.</i> Автоматизированная система определения и картирования депонируемого лесами углерода в среде СУБД ADABAS..... | 22 |
| <i>С.И. Смирнов, Л.А. Юркова, В.А. Кучук.</i> К вопросу дифференциации территорий для целей управления биоресурсами лесных и других экосистем.....   | 29 |
| <i>А.И. Сиволапов, А.И. Чернодубов, В.А. Сиволапов.</i> Опытные культуры тополя на вырубках учебно-опытного лесхоза ВГЛТА.....   | 33 |
| <i>Н.В. Овсянникова, П.А. Феклистов, Н.В. Волкова, В.И. Мелехов, А.М. Тараканов, М.Д. Мерзленко.</i> Температура древесины ели обыкновенной.....   | 38 |
| <i>А.Ф. Осипов.</i> Биологическая продуктивность сосняков чернично-сфагновых средней тайги.....  | 43 |

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

|  |    |
|--|----|
| <i>О.Н. Оруджова.</i> Динамика развития сети лесовозных автомобильных дорог.....   | 52 |
| <i>Е.А. Памфилов, П.Г. Пыриков, Г.А. Пилушина, С.В. Тягин.</i> Повышение герметичности неподвижных разъемных соединений гидросистем машин и оборудования лесного комплекса.....                    | 56 |
| <b>С.П. Дорохов.</b> Решение уравнения Эйлера в одной задаче быстрогодействия двухзвонного манипулятора лесной машины.....   | 63 |
| <i>Д.Г. Мясищев, А.С. Ваиуткин.</i> Организация и планирование экспериментального исследования подвода сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения..... | 70 |
| <i>С.А. Абраменко.</i> Обоснование выбора типа подъемника как компонента системы сервиса лесных машин в полевых условиях лесозаготовок.....  | 78 |

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| <i>А.Н. Галашев, М.А. Хвиозов.</i> Расчет времени охлаждения круглых пил в период холостого хода.....             | 82  |
| <i>Р.Е. Калитеевский, А.М. Артеменков.</i> Структурно-динамический анализ профессионального поля лесопиления..... | 88  |
| <i>М.А. Корельская, А.М. Копейкин.</i> О корректности определения размерных характеристик пиловочных бревен.....  | 102 |
| <i>О.С. Пономарев, И.К. Гиндулин, Ю.Л. Юрьев.</i> Варианты производства древесноугольных брикетов.....            | 107 |
| <i>Н.Н. Черемных.</i> Расчет эффективности акустической защиты лесопильных цехов...                               | 112 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>О.Д. Мюллер, В.И. Мелехов, В.К. Любов, Д.Л. Герасимчук, А.Н. Попов.</i> Влияние технологических параметров прессования на относительную плотность топливных древесных гранул.....                                     | 116 |
| <i>С.П. Агеев.</i> Многофакторная модель электропотребления поточной линии производства пилопродукции.....   | 122 |
| <b>ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ</b>  |     |
| <i>А.В. Вураско, Б.Н. Дрикер, Э.В. Мертин, А.Р. Минакова.</i> Применение озона при окислительно-органо-растворительной делигнификации недревесного растительного сырья.....  | 131 |
| <i>А.П. Карманов, Л.С. Кочева, В.Ю. Беляев, О.С. Бровко, Ю.С. Оводов.</i> Лигнин ксилемы пихты <i>Abies sibirica</i> . Исследование структуры макромолекул методами молекулярной гидродинамики.....                      | 137 |
| <i>Г.Е. Коротаев, Ю.В. Севастьянова, Н.Н. Фетюкова.</i> Исследование структурно-размерных и фундаментальных свойств сульфатной небеленой целлюлозы, полученной из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели..... | 146 |
| <b>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</b>  |     |
| <i>В.П. Сиваков, И.А. Партин.</i> Кинематические силы процесса выгрузки суспензии из питателя.....   | 153 |
| <i>Е.В. Дьякова, А.В. Гурьев.</i> Rap-Fog 2012 – международная инновационная площадка индустрии ЦБП.....   | 159 |
| <b>ЮБИЛЕИ</b>  |     |
| <i>Редколлегия «Лесного журнала», ректорат и коллектив лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.</i> Николай Алексеевич Бабищ.....                            | 161 |
| <i>Г.В. Комарова, Н.А. Кутакова, Л.Н. Кузнецова, С.И. Третьяков.</i> Профессору Николаю Ивановичу Богдановичу – 70 лет.....  | 163 |
| <i>Е.Г. Царев, С.В. Любова, П.А. Феклистов, С.В. Третьяков, В.В. Петрик.</i> Юбилей Елены Николаевны Наквасиной.....   | 165 |
| <b>ПАМЯТИ УЧЕНЫХ</b>   |     |
| <i>Коллектив лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.</i> В.В. Щелкунов (к 100-летию со дня рождения).....   | 167 |
| <i>Ректорат Московского государственного университета леса, коллеги, ученики.</i> П.С. Серговский – основатель научно-педагогической школы гидротермической обработки древесины (к 100-летию со дня рождения).....       | 169 |



## CONTENTS

## FORESTRY

|   |    |
|---|----|
| <i>N.A. Lugansky, A.V. Suslov.</i> Dynamics of Scotch Pine Increment under Traffic Pollution (Yekaterinburg).....   | 7  |
| <i>D.A. Dobrynin, V.V. Petrik.</i> Arkhangelsk Region Forest Ecosystems with High Conservation Value.....   | 12 |
| <i>V.S. Pisanov, A.K. Mukhin.</i> Dynamics of Moss Pine Stands in the Area of Indirect Impact of Rybinsk Reservoir.....   | 16 |
| <i>M.P. Voronov, V.A. Usoltsev, V.P. Chasovskikh, I.S. Lazarev, N.V. Senchilo.</i> Automated System for Identification and Mapping of Forest Carbon Depositions when using ADABAS System..... | 22 |
| <i>S.I. Smirnov, L.A. Yurkova, V.A. Kuchuk.</i> To the Question of Area Differentiation for Managing Bioresources and other Ecosystems.....   | 29 |
| <i>A.I. Sivolapov, A.I. Chernodubov, V.A. Sivolapov.</i> Populus Test Crops in Felling Areas of VSAFT Research Forestry.....  | 33 |
| <i>N.V. Ovsyannikova, P.A. Feklistov, N.V. Volkova, V.I. Melekhov, A.M. Tarakanov, M.D. Merzlenko.</i> The Temperature of Spruce Trunks.....  | 38 |
| <i>A.F. Osipov.</i> Biological Productivity of Whortleberry-Sphagnum Pine Forests in Medium Boreal Taiga.....   | 43 |

## WOODEXPLOITATION

|   |    |
|---|----|
| <i>O.N. Orudzhova.</i> Dynamics of Logging Road Network Development.....  | 52 |
| <i>E.A. Pamfilov, P.G. Pyrikov, G.A. Pilyushina, S.V. Tyapin.</i> Increased Tightness of Stable Demountable Connections in Machines and Forestry Equipment Hydrosystems.....  | 56 |
| <i>S.P. Dorokhov.</i> Solution of the Euler Equation in a Speed-in-Action Problem for a Two-Link Vehicle Manipulator.....   | 63 |
| <i>D.G. Myasishchev, A.S. Vashutkin.</i> Organization and Planning of the Experimental of Compressed Air Supply between the Brake Pads and Brake Drum under Deceleration..... | 70 |
| <i>S.A. Abramenko.</i> Validation of Lift Device Type Choice as a Component of a Logging Machinery Service System.....  | 78 |

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

|  |     |
|--|-----|
| <i>A.N. Galashev, M.A. Khviyuzov.</i> Time Calculation of Circular Saw Cooling at Idle Speed.....  | 82  |
| <i>R.E. Kaliteevsky, A.M. Artemenkov.</i> Structural Dynamic Analysis of Professional Field of Sawmilling.....   | 88  |
| <i>M.A. Korelskaya, A.M. Kopeikin.</i> On Correctness of Saw Log Dimensions Calculation.....   | 102 |
| <i>O.S. Ponomarev, I.K. Gindulin, Yu.L. Yuryev.</i> Possible Ways of Charcoal Briquette Production.....  | 107 |
| <i>N.N. Cheremnykh.</i> Efficiency Calculation of Acoustic Treatment of Sawing Workshops.....  | 112 |
| <i>O.D. Mueller, V.I. Melekhov, V.K. Lyubov, D.L. Gerasimchuk, A.N. Popov.</i> Dependence of Compacting Technological Parameters on Relative Density of Wood Fuel Pellets..... | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>S.P. Ageyev. Multifactor Model of a Sawmill Production Line Electric Energy Demand..</i>  | 122 |
| <i>CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD</i>   |     |
| <i>A.V. Vurasko, B.N. Driker, E.V. Mertin, A.R. Minakova. Use of Ozone for Oxidative and Organic Solvent Delignification of Non-Wood Plant Raw Material.....</i>                                     | 131 |
| <i>A.P. Karmanov, L.S. Kocheva, V.Yu. Belayev, O.S. Brovko, Yu.S. Ovodov. Lignin of Abies sibirica Xylem. Study of Macromolecule Structure by Means of Molecular Hydrodynamics.....</i>              | 137 |
| <i>G.E. Korotaev, Ju.V. Sevastyanova, N.N. Fetyukova. Study of the Structure-Dimensional and Fundamental Properties of Unbleached Sulphate Pulp Obtained from Normal, Dying and Dead Spruce.....</i> | 146 |
| <i>SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING</i>  |     |
| <i>V.P. Sivakov, I.A. Partin. Kinematic Forces in the Process of Suspension Discharge from Feeder.....</i>   | 153 |
| <i>E.V. Dyakova, A.V. Guryev. Pap-For 2012: International Innovation Forum for Pulp and Paper Industry.....</i>  | 159 |
| <i>JUBILEES</i>  |     |
| <i>Editorial Board of the "Forest Journal", Forestry Engineering Institute of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Nikolay Alekseevich Babich.....</i>                   | 161 |
| <i>G.V. Komarova, N.A. Kutakova, L.N. Kuznetsova, S.I. Tretyakov. Professor Nikolay Bogdanovich is 70.....</i>   | 163 |
| <i>E.G. Tsarev, S.V. Lyubova, P.A. Feklistov, S.V. Tretyakov, V.V. Petrik. Birthday Anniversary of Elena Nakvasina.....</i>  | 165 |
| <i>TO THE MEMORY OF SPECIALISTS</i>  |     |
| <i>Forestry Engineering Institute of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. V.V. Shchelkunov (on the occasion of 100th Birthday Anniversary).....</i>                      | 167 |
| <i>Administration, colleagues, pupils. P.S. Sergovskiy – Founder of Educational Research School of Hydro-Thermal Treatment of Wood (on the occasion of 100th Birthday Anniversary).....</i>          | 169 |

---



УДК 630\*273

*Н.А. Луганский, А.В. Суслов*

Уральский государственный лесотехнический университет

Луганский Николай Алексеевич родился в 1931 г., окончил в 1956 г. Уральский государственный лесотехнический институт, профессор кафедры лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 250 опубликованных работ в области лесоведения и лесоводства.

Тел.: 8(343) 261-52-88



Суслов Александр Владимирович родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант кафедры лесоводства УГЛТУ. Имеет около 10 печатных работ, посвященных исследованиям придорожных сосновых насаждений.

E-mail: syslov@el.ru



### **ДИНАМИКА ПРИРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (г. ЕКАТЕРИНБУРГ)**

Установлено, что в естественных сосновых насаждениях, произрастающих вблизи Ново-Московского тракта, снижается средний годичный прирост, возрастает его изменчивость и амплитуда колебаний, а следовательно, ухудшается качество древесины.

*Ключевые слова:* прирост, динамика, сосна, загрязнение.

Лесам принадлежит основная роль в регулировании всех происходящих природных процессов на Земле. Современный уровень развития промышленности и транспорта вызвал резкое увеличение потребления сырья, топлива и количества техногенных выбросов.

Многие исследователи внесли существенный вклад в изучение воздействия автотранспорта на древесные растения в городских условиях [2, 6]. Но относительно слабо изученным остается вопрос реакции естественных лесных насаждений, поэтому данная работа приобретает большую актуальность.

В нашей стране годовой прирост автомобилей составляет около 1 млн. Екатеринбург среди городов России – лидер по количеству машин на душу населения. Если в 2000 г. было чуть более 200 тыс. автомобилей, то по последним данным их уже около 500 тыс. В 2008 г. на 1000 жителей Екатеринбу-

бурга приходилось 320 автомобилей, тогда как в Москве и Петербурге этот показатель составлял соответственно 305 и 304.

Наши исследования охватывают естественные сосновые насаждения вдоль федеральной автомобильной дороги 1Р 242 Пермь–Екатеринбург (Ново-Московский тракт) II категории пользования, построенной в 1978 г. В 2000 г. интенсивность движения на этой дороге была 4 354 автомобиля в сутки, в 2008 г. она увеличилась в 3,4 раза и составила 14 999 автомобилей в сутки.

В ходе выполнения работ нами было заложено 8 постоянных пробных площадей (ППП) в условиях черничного типа леса, 4 из них граничат с автодорогой (придорожная зона), остальные располагаются на расстоянии 250 м (контрольная зона). Размеры ППП (50×50 м) определены, исходя из требования наличия на ней не менее 100...200 деревьев основного элемента леса.

По данным литературных источников зона автотранспортного загрязнения может составлять от 10 до нескольких сотен метров в зависимости от конкретных условий [4, 5]. Проведенный нами химический анализ почвы вдоль Ново-Московского тракта в пределах ППП придорожной зоны показал наличие загрязняющих веществ, характерных для автотранспортных выбросов (табл. 1).

С удалением от дороги происходит заметное увеличение кислотности почвы (понижение рН от 7,35 до 5,41). Подщелачивание почвы в придорожной зоне может способствовать ухудшению состояния насаждений сосны в дополнение к отрицательному воздействию газов, пыли и примесей тяжелых металлов. Тяжелые металлы, содержащиеся в почве, как индикаторы загрязнений показывают степень выраженности автотранспортного воздействия. Установлено, что по мере удаления от Ново-Московского тракта содержание тяжелых металлов в почве снижается.

В данной работе степень и характер влияния автотранспорта на рост древостоев лесных насаждений оценивали с помощью дендрохронологического метода. Прирост отдельных деревьев и древостоя в целом наиболее универсальный и обобщающий признак их состояния. При оценке воздействия антропогенных факторов нельзя обойтись без применения этого признака [1, 3].

Сосна обыкновенная – прекрасный объект как для дендрохронологических исследований (отчетливые границы между годичными слоями, долговечность деревьев, слабое влияние плодоношения на динамику прироста),

Таблица 1

**Химический анализ проб почвы на ППП придорожной зоны  
вдоль Ново-Московского тракта**

| Расстояние от дороги, м | рН   | Содержание тяжелых металлов, мг/кг |      |      |      |
|-------------------------|------|------------------------------------|------|------|------|
|                         |      | Pb                                 | Cu   | Ni   | Zn   |
| 1                       | 7,35 | 23,3                               | 28,1 | 12,3 | 22,0 |
| 5                       | 6,78 | 22,3                               | 19,8 | 9,5  | 18,6 |
| 15                      | 5,41 | 10,9                               | 10,8 | 2,8  | 10,7 |



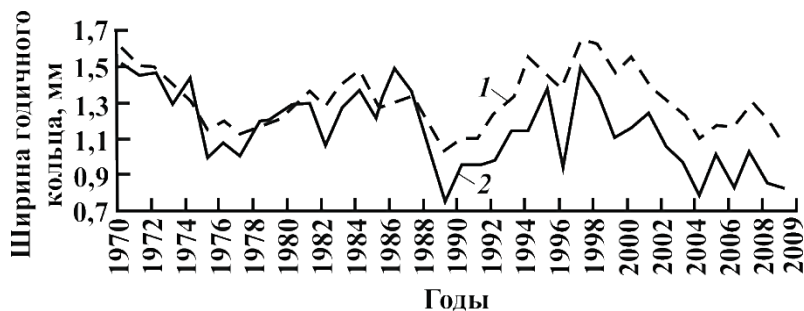
так и для биоиндикации и мониторинга (обладает высокой чувствительностью и характерной реакцией на загрязнение атмосферы различной интенсивности, на рекреационное воздействие). Кроме того, сосна обыкновенная на Урале по распространению занимает первое место.

На ППП придорожной и контрольной зон отбирали по 10 образцов (кernов) древесины для обеспечения 10 %-й точности исследований стволов цилиндрической формы, не имеющих внешних повреждений и относящихся ко II-III классам роста по классификации Крафта, с относительно одинаковым со всех сторон годичным приростом. Kernы в количестве 1-2 с одного учетного дерева отбирали возрастным буровом с восточной стороны стволов на высоте 1,3 м от шейки корня [4].

Датировку и измерение годичных колец проводили с помощью измерительной лупы, снабженной микрометренной шкалой. Использовали визуальный метод датирования: осмотр изменчивости колец под увеличительным стеклом. Для сравнительного анализа изменчивости радиального прироста деревьев на различном удалении от автотрассы применен графический метод. Сравнивали цикличность, амплитуду колебаний, минимумы и максимумы прироста.

Осредненные по пробным площадям данные текущего годичного радиального прироста кольца (ширины годичного кольца) представлены графически на рисунке, где хорошо прослеживается цикличность прироста. Основные минимумы и максимумы являются общими для всех обследованных древостоев.

Анализ графиков показал, что с 1970 г. в первые 10...15 лет радиальный прирост сравниваемых древостоев довольно равномерный. На ППП придорожной и контрольной зон происходит плавное увеличение и уменьшение от максимума к минимуму и наоборот. С 1987 г. на всех участках резко снижается прирост, в придорожной зоне это более выражено. С этого времени наглядно прослеживается его депрессия вдоль дороги. В придорожной зоне колебания происходят с большими перепадами значений, на контроле они меньше. Наибольшие перепады радиального прироста отмечены в 1987–1989 и 1995–1996 гг. Начиная с 1988 г. абсолютные значения прироста по всем годам на контроле больше, чем вдоль дороги. Начиная с 1997 г. отмечается снижение прироста, причем в придорожной зоне более интенсивное.



Динамика радиального прироста сосны обыкновенной вдоль Ново-Московского тракта: 1 – контрольная зона; 2 – придорожная зона

Таблица 2

**Колебания влияния автотранспорта на радиальный прирост сосны обыкновенной вдоль Ново-Московского тракт**

| Год                | Придорожная зона |               |              |                | Контрольная зона |               |              |                |
|--------------------|------------------|---------------|--------------|----------------|------------------|---------------|--------------|----------------|
|                    | <i>r</i> , мм    | $\sigma$ , мм | <i>u</i> , % | $\epsilon$ , % | <i>r</i> , мм    | $\sigma$ , мм | <i>u</i> , % | $\epsilon$ , % |
| 1997<br>(максимум) | 1,50±0,16        | 0,52          | 34,71        | 10,98          | 1,65±0,14        | 0,44          | 26,53        | 8,39           |
| 1989<br>(минимум)  | 0,74±0,08        | 0,27          | 36,15        | 11,43          | 1,03±0,05        | 0,15          | 14,51        | 4,59           |

Примечание. *r* – экстремальное значение радиального прироста,  $\sigma$  – стандартное отклонение, *u* – коэффициент вариации,  $\epsilon$  – точность исследования.

Кривые 1 и 2 отражают стабильную цикличность радиального прироста. Амплитуда колебаний прироста в абсолютных значениях больше в придорожной зоне, чем на контроле, но в последнем десятилетии вместе с уменьшением прироста происходит снижение и амплитуды колебаний.

Анализ графика позволяет выявить экстремальные значения прироста (табл. 2). Максимальный прирост отмечен на всех ППП в 1997 г.: в придорожной зоне этот показатель менее выражен и составляет 1,50 мм, в контрольной – 1,65 мм. Наиболее глубокий минимум прироста наблюдался в придорожной зоне в 1989 г.: вдоль дороги его значения составляют 0,74 мм, на расстоянии 250 м от нее – 1,03 мм.

Так как древостои всех постоянных пробных площадей имеют один возраст, можно сравнивать количественные характеристики среднего прироста. В связи с тем, что Ново-Московский тракт был построен в 1978 г., целесообразно сравнить периоды роста по десятилетиям с 1979 г. по 2008 г. (табл. 3).

Как видно из таблицы, в придорожной зоне происходит более значительное уменьшение среднего периодического прироста с каждым десятилетием. В первые годы уровень прироста на ППП практически совпадает, но в 90-е разница между контролем и придорожной зоной составляет 17 %, в 1999–2008 гг. этот показатель уже 22 %. Прирост в последнем десятилетии на всех участках минимален. При этом в зоне действия автотранспортного загрязнения наблюдается большая вариабельность прироста по сравнению с контролем.

Таблица 3

**Средний годичный прирост сосны обыкновенной по периодам с 1979 г. по 2008 г. вдоль Ново-Московского тракта**

| Период по годам | Придорожная зона |               |              |                | Контрольная зона |               |              |                |
|-----------------|------------------|---------------|--------------|----------------|------------------|---------------|--------------|----------------|
|                 | $x_{cp}$ , мм    | $\sigma$ , мм | <i>u</i> , % | $\epsilon$ , % | $x_{cp}$ , мм    | $\sigma$ , мм | <i>u</i> , % | $\epsilon$ , % |
| 1979–1988       | 1,26±0,04        | 0,14          | 11,08        | 3,50           | 1,30±0,03        | 0,09          | 6,85         | 2,16           |
| 1989–1998       | 1,11±0,08        | 0,24          | 21,78        | 6,89           | 1,34±0,07        | 0,23          | 16,81        | 5,32           |
| 1999–2008       | 1,01±0,05        | 0,15          | 14,66        | 4,63           | 1,29±0,05        | 0,15          | 11,35        | 3,59           |

Примечание.  $x_{cp}$  – средний периодический прирост за десятилетие.

По результатам наших исследований можно сделать следующие выводы.

1. В придорожной зоне Ново-Московского тракта резко возрастает амплитуда колебаний ширины годичного кольца сосны обыкновенной, нарушается цикличность, что может отрицательно сказаться на качестве древесины.

2. В результате воздействия транспорта средний годичный прирост падает, причем с каждым десятилетием его разница с контролем увеличивается.

3. Отмечены наибольшие и длительные депрессии текущего прироста. Его колебания имеют более значительные перепады, более глубокие минимумы и максимумы.

4. Резко возрастает изменчивость среднего периодического прироста по сравнению с контролем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.С.* Колебание радиального прироста в древостоях при атмосферном загрязнении // Лесоведение. 1990. № 2. С. 82–86.

2. *Колмогорова Е.Ю., Кайдорина В.А., Неверова О.А.* Морфофизиологическая оценка состояния березы повислой в условиях действия выбросов автотранспорта // Лесн. журн. 2012. № 2. С. 20–27. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Комин Г.Е.* Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов // Лесоведение. 1990. № 2. С. 3–11.

4. *Лысков А.Б.* Влияние автомагистрали на почвенно-экологические условия сосновых насаждений // Лесоведение. 1996. № 2. С. 73–84.

5. *Матвеев С.М.* Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи: моногр. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. 272 с.

6. *Цандекова О.Л.* Фенологические особенности древесных видов в условиях действия выбросов автотранспорта // Лесн. журн. 2012. № 4. С. 33–39. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 5.05.10

*N.A. Lugansky, A.V. Suslov*

The Ural State Forest Engineering University

#### **Dynamics of Scotch Pine Increment under Traffic Pollution (Yekaterinburg)**

It was found that in natural pine stands growing near Novomoskovsky Tract, the average annual growth is reduced, while its variability and amplitude of increment fluctuations are increased; thus the quality of the wood deteriorates.

*Key words:* increment, dynamics, pine, pollution.

---

УДК 630\*935.4: 502.5:528.88

**Д.А. Добрынин<sup>1</sup>, В.В. Петрик<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Всемирный фонд дикой природы

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова

Добрынин Денис Александрович родился в 1983 г., окончил в 2005 г. Поморский государственный университет, координатор проектов во Всемирном фонде дикой природы. Имеет 2 печатные работы в области оценки эффективности сохранения лесов на ООПТ. E-mail: ddobrynin@wwf.ru



Петрик Виталий Васильевич родился в 1952 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 80 печатных работ в области прижизненного использования леса. E-mail: harz@agtu.ru



## **ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕСЯ ВЫСОКОЙ ПРИРОДООХРАННОЙ ЦЕННОСТЬЮ\***

Кратко изложено основное содержание проекта «GAP – анализ». Представлен логический подход к выбору оптимальных мест для создания новых особо охраняемых природных территорий (ООПТ) с учетом природоохранной ценности лесных экосистем. Приведен перечень лесов Архангельской области, ценных в природоохранном отношении, дана их краткая характеристика и особенности картографирования.

*Ключевые слова:* природоохранная ценность лесов, особо охраняемая природная территория, картографирование, анализ.

В настоящее время на Северо-Западе России (в том числе и в Архангельской области) реализуется российско-финляндский проект «Оценка ландшафтно-экологической репрезентативности сети ООПТ» («GAP-анализ»). Основные положения проекта: а) выявление наиболее ценных и уязвимых экосистем и биологических видов; б) оценка степени их представленности в существующей системе ООПТ, т.е. выявление основных недостатков (пробелов) системы ООПТ; в) разработка способов сохранения выявленных ценных и уязвимых экосистем и биологических видов с учетом местной социально-экономической ситуации.

Приоритетными объектами «GAP-анализа» в Архангельской области являются лесные экосистемы. Составленный перечень лесов, ценных в природоохранном отношении [2], достаточно велик. Ниже будут указаны лишь те

\* В рамках проекта «GAP-анализ».

© Добрынин Д.А., Петрик В.В., 2013

категории ценных лесов, по которым в настоящее время имеется необходимая информация, позволяющая их картографировать. После получения контуров (ГИС-слоев) представляется возможным провести анализ представленности таких лесов в Архангельской области и в системе ООПТ, т.е. выявить эффективность их охраны. Анализ проводился с учетом границ ландшафтных районов [3] и лесничеств.

При картографировании и анализе указанных лесов нами использовались космические снимки (Landsat, разрешение 30 м/пиксель); данные лесоустройства (масштаб 1: 50 000; 1: 500 000); топографические карты (масштаб 1:100 000; 1: 200 000); различные тематические карты (карты растительности, ландшафтные и др.); результаты экспертных оценок.

*Малонарушенные лесные территории (МЛТ)* – крупные (площадь более 50 тыс. га, минимальный линейный размер – 10 км) территории дикой природы в пределах лесной природной зоны, включающие как лесные, так и нелесные экосистемы, в минимальной степени нарушенные хозяйственной деятельностью человека и развивающиеся под воздействием природных процессов. В пределах этих территорий может устойчиво поддерживаться большинство природных ценностей и естественных механизмов самоорганизации таежных ландшафтов [4].

МЛТ – обязательное условие для сохранения устойчивых популяций крупных позвоночных животных, особенно чувствительных к антропогенному воздействию или изменению мест обитания, эталонных водных и болотных объектов, естественной динамики таежных экосистем. Малонарушенные леса представляют собой последние крупные массивы темнохвойной тайги в Архангельской области. Остальные лесные земли области практически полностью заняты вторичными смешанными и мелколиственными лесами. Кроме того, при расширении системы ООПТ, необходимо принимать во внимание, что отсутствие антропогенных нарушений – это особое свойство ландшафтов, которое не может быть восстановлено искусственным путем. Наиболее угрожаемыми (и соответственно приоритетными для сохранения) признаются южные массивы малонарушенных лесов, расположенные в пределах средней подзоны тайги [1].

*Массивы старовозрастных еловых лесов* (площадь менее 50 тыс. га) являются ценными, если расположены в ландшафтных районах/лесничествах Архангельской области, в которых нет МЛТ (как правило, южные и юго-западные районы/лесничества). Порог минимальной площади при анализе таких массивов для каждого ландшафтного района/лесничества, видимо, следует устанавливать индивидуально: от 100 до 500 га.

*Леса с наличием лиственницы и пихты в составе древостоя* признаются ценными, если эти породы присутствуют менее чем на 10 % площади лесничества (если более чем на 10 %, то учитываются только старовозрастные). Наличие естественного возобновления лиственницы – фактор, значительно увеличивающий природоохранную ценность таких насаждений.

*Спелые и перестойные осиновые и елово-осиновые леса*, как правило, относятся к вторичным лесам, однако являются ценными, поскольку представляют собой местообитания редких видов лишайников, мхов, некоторых видов позвоночных животных (белка-летяга) и птиц. Кроме того, в таких лесах встречаются представители неморальной флоры.

*Леса с наличием в пологе ольхи черной.* Ценными признаются любые черноольшанники (травяно-болотные, травяно-таволговые, осоковые, сфагновые и др.), которые являются редкими сообществами для Архангельской области. Кроме того, в них встречаются представители орхидных.

Общий логический подход выбора оптимальных мест для создания новых ООПТ представлен на рисунке.



Определение, картографирование и оценка степени охраняемости ценных лесных экосистем позволят в дальнейшем выявить основные недостатки системы ООПТ Архангельской области. Полученные данные необходимы для создания карты территорий, которые в первую очередь нуждаются в присвоении статуса особо охраняемых.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрынин Д.А. Эффективность сохранения естественных лесных ландшафтов в системе особо охраняемых природных территорий Архангельской области // Лесн. журн. 2008. № 3. С. 51–56. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Протокол семинара «Картографирование лесов в рамках GAP-анализа», 29.02 – 01.03. СПб., 2008.

3. *Столповский А.П., Добрынин Д.А.* Ландшафтное разнообразие и система особо охраняемых природных территорий Архангельской области. Архангельск: WWF, 2008. 36 с.

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

Поступила 04.07.08

*D.A. Dobrynin<sup>1</sup>, V.V. Petrik<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>World Wildlife Fund

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

### **Arkhangelsk Region Forest Ecosystems with High Conservation Value**

The paper provides a summary of the “GAP-analysis” project. A logical approach to selection of optimum locations for new protected areas is presented, taking into account the environmental value of forest ecosystems. Arkhangelsk region forests valuable in terms of environment are listed; their brief description and peculiarities of mapping are given.

*Key words:* forest conservation value, nature protected areas, mapping, analysis.

УДК 630\*187

**В.С. Писанов, А.К. Мухин**

Дарвинский государственный природный биосферный заповедник

Писанов Виктор Сергеевич родился в 1938 г., окончил в 1973 г. Московский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Дарвинского государственного природного биосферного заповедника. Имеет 45 печатных работ в области динамической типологии леса.  
E-mail: darvinsk@zapoved.ru



Мухин Андрей Константинович родился в 1973 г., окончил в 2003 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, младший научный сотрудник Дарвинского государственного природного биосферного заповедника. Область научных интересов – изучение динамики прибрежных лесов с использованием принципов динамической типологии.  
E-mail: darvinsk@zapoved.ru



### **ДИНАМИКА ЗЕЛЕНОМОШНЫХ СОСНЯКОВ В ЗОНЕ КОСВЕННОГО ВЛИЯНИЯ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Показаны изменения, произошедшие за 60-летний период в сосняке ягодниково-зеленомошном, произрастающем на «гриве» среди заболоченных сосновых лесов в зоне косвенного влияния водохранилища. С использованием принципов динамической типологии И.С. Мелехова установлено, что за прошедший период тип леса сохранил свои основные черты и может быть отнесен к замедленному по динамике типу-этапу – сосняку ягодниково-зеленомошному.

*Ключевые слова:* зоны прямого и косвенного влияния водохранилища, динамическая типология леса, типы-этапы.

Дарвинский заповедник расположен в северо-западной части Рыбинского водохранилища на пологом низменном водораздельном полуострове, представляющем собой сохранившуюся от затопления часть Молого-Шекснинской низменности.

Проектный уровень водохранилища (102,0 м (абс.)) был достигнут в 1947 г. При таком уровне водохранилище представляет большой по площади (450 тыс. га), но мелководный (средняя глубина 4,0...5,0 м) водоем.

В заповеднике преобладают заболоченные сосновые леса и верховые болота. Зеленомошные леса растут на участках с нормальным увлажнением. Таких мест в заповеднике немного (14 % покрытой лесом площади или 6,5 тыс. га), они представляют собой прибрежные валы водохранилища и лесных рек, а также «гривы» среди заболоченных лесов и болот. Водоохранилище существенно изменило условия произрастания лесов, вызвав подъем уровня грунтовых вод (УГВ) и подтопление корневой системы деревьев на пониженных элементах рельефа.

---

© Писанов В.С., Мухин А.К., 2013



Выделяют зону *прямого влияния* водохранилища, когда колебания УГВ повторяют изменения уровня водохранилища [1]. На этих участках происходит подъем УГВ вследствие инфильтрации и подпора со стороны водохранилища. Ширина зоны прямого влияния зависит от высоты берега. Если берег на 1,0 м и более выше нормального проектного уровня водохранилища, то ширина зоны достигает 50...150 м [2].

На более удаленных от берега участках подъема УГВ не произошло, а режим колебания уровня остался прежним, как и до создания водохранилища. Эта территория простирается до верховых болот (1,0...1,5 км от берега) и называется зоной *косвенного влияния* водохранилища. В этой зоне, как и в зоне прямого влияния водохранилища, произошло незначительное для древесной растительности изменение микроклимата. Примерно на полмесяца задерживается начало вегетации и продлевается ее окончание, изменилась влажность воздуха, произошла смена направления ветра [1].

Большая часть зеленомошных сосняков расположена по берегам водохранилища и лесных рек на участках, лежащих выше 1,0...2,0 м от проектного уровня водохранилища. Здесь, особенно на пониженных участках, отмечены изменения лесов под влиянием водохранилища и формирование новых типов-этапов по И.С. Мелехову.

Результаты исследований на пробных лесных площадях в зеленомошных сосняках, растущих в зоне прямого влияния водохранилища, были проанализированы с использованием принципов динамической типологии И.С. Мелехова [4]. Они выявили значительную подвижность и изменчивость живого напочвенного покрова, как индикатора почвенно-гидрологических условий.

Изменения произошли в сторону большей гигрофитности. Лишайниковые типы за 10...15-летний период трансформировались в лишайниково-зеленомошные типы-этапы [6, 8], лишайниково-зеленомошные – в чистые зеленомошные и черничники зеленомошные [7], черничники зеленомошные – в черничники зеленомошно-сфагновые [5].

В настоящей работе рассмотрена динамика зеленомошного сосняка, расположенного в зоне косвенного влияния водохранилища. Исследование проведено на пробной площади (ПП) № 21, заложенной и описанной в 1946 г. Площадь стационара 0,5 га, здесь произрастает сосняк бруснично-черничный зеленомошный или ягодуничково-зеленомошный.

ПП расположена на гриве среди заболоченных лесов, высотная отметка участка 104,0...104,3 м (абс.). С юго-запада грива отделяется от берегового вала полосой верхового болота шириной 300 м, с северо-востока она полого опускается к долине ручья, впадающего в залив водохранилища.

На ПП выделены две почвенные разности по выраженности процесса оглеения: среднеподзолистая слабо- и среднеоглеенная пылевато-песчаная [10].

Режим колебания УГВ зависит от осадков и испарения. Ближе к поверхности почвы грунтовые воды поднимаются в апреле-мае (1,5 м от поверхности). В многоводный год грунтовые воды весь вегетационный период

держатся на глубине 1,5...2,0 м, в засушливый год они опускаются до 3,2 м в сентябре, а осенью поднимаются до глубины 2,5 м от поверхности. Такой режим УГВ обеспечивает благоприятные условия увлажнения почвы.

Динамика рассматриваемого типа леса за 40-летний период отражена в [3], в данной статье показаны изменения разных компонентов сосняка ягодниково-зеленомошного за 55-летний период.

Рассмотрим, как менялись разные компоненты леса за исследованный 55-летний период.

По данным первого описания в 1946 г. древостой был чистым сосновым («С») с единичной елью. За годы наблюдения было выполнено 7 перечетов древостоя. В таблице приведены таксационные показатели по разным годам перечета (В.С. Писанов проводил исследования с 1971 г., А.К. Мухин – с 2002 г.).

Рассматривая динамику древостоя за 55-летний период, отмечаем, что древостой за это время перешел из возраста приспевания в спелый, произошло изменение состава за счет перехода подроста ели в древесный ярус (это деревья, достигшие ступени 8 см).

Если сравнивать изменения таксационных показателей сосны с соответствующими показателями из таблицы хода роста №114 [9], то можно отметить существенное совпадение, т.е. древостой растет как в нормальных условиях и водохранилище практически не оказывает на него никакого влияния.

#### Динамика таксационных показателей древостоя на ПП № 21

| Год перечета | Состав     | Диаметр, м          | Высота, м           | Бонитет («С») | Полнота | Состояние, % |          | Запас, м <sup>3</sup> /га |        |          | Возраст, лет |
|--------------|------------|---------------------|---------------------|---------------|---------|--------------|----------|---------------------------|--------|----------|--------------|
|              |            |                     |                     |               |         | здорового    | сухостоя | живого                    | сухого | валяняка |              |
| 1946         | 10С ед.Е   | <u>23,1</u><br>24,5 | <u>21,1</u><br>22,8 | I,7           | 0,94    | 92,0         | 2,4      | 345                       | 8      | –        | 77           |
| 1960         | 10С+Е ед.Б | <u>24,7</u><br>28,4 | <u>20,1</u><br>23,9 | II,9          | 1,05    | 96,5         | 5,3      | 397                       | 22     | –        | 90           |
| 1971         | 9С1Е ед.Б  | <u>25,3</u><br>29,8 | <u>20,8</u><br>25,0 | II,0          | 1,05    | 92,0         | 10,0     | 401                       | 45     | 17       | 101          |
| 1976         | 9С1Е ед.Б  | <u>26,0</u><br>30,9 | <u>21,8</u><br>25,4 | II,0          | 1,09    | 90,0         | 8,6      | 419                       | 39     | 33       | 106          |
| 1981         | 9С1Е ед.Б  | <u>26,3</u><br>31,6 | <u>21,2</u><br>25,6 | II,1          | 1,11    | 89,1         | 8,2      | 431                       | 38     | 43       | 111          |
| 1991         | 9С1Е ед.Б  | <u>26,2</u><br>33,2 | <u>21,0</u><br>27,0 | II,0          | 1,14    | 91,0         | 10,7     | 461                       | 55     | 66       | 121          |
| 2001         | 9С1Е ед.Б  | <u>26,0</u><br>33,9 | <u>21,0</u><br>27,0 | II,1          | 1,14    | 94,9         | 13,9     | 459                       | 67     | 74       | 131          |

Примечания: 1. Тип леса – сосняк ягодниково-зеленомошный (бруснично-черничный зеленомошный). 2. В числителе – среднее для всего древостоя, в знаменателе – среднее для первого яруса.

Возобновление древостоя происходит за счет ели. При первом описании учтено более 1,0 тыс. шт./га ели разной высоты, преобладал подрост до 1,0 и выше 3,0 м. Единично (ед.) отмечены березы до 1,0 м.

Через 30 лет подрост представлен елью и березой пушистой. Ель распределена равномерно, высота подроста от 0,5 до 5,0 м, господствующая – 1,0 м. Состояние удовлетворительное и хорошее, общая численность – 0,8 тыс. шт./га. Береза немногочисленна, распределена равномерно, состояние удовлетворительное, высота – от 0,5 до 7,0 м, господствующая – менее 1,0 м, общая численность – 0,1 тыс. шт./га.

При последнем описании (еще через 30 лет) подрост ели существенно не изменился, стали преобладать ели высотой 2,5...4,0 м, состояние большей части хорошее. В целом на ПП возобновление ели надежное и достаточно многочисленное. Сохранились единичные (~ 20 шт./га) березы высотой 1,5...3,0 м, состояние удовлетворительное.

Подлесок при описании в 1946 г. был представлен многочисленными кустами можжевельника (до 5,0 тыс. шт./га) с господствующей высотой до 1,0 м. Встречались кусты до 3,0 м и выше, все они были здоровыми.

Через 30 лет в подлеске остались лишь единичные кусты можжевельника (до 50 шт./га) высотой до 1,0 м, состояние удовлетворительное. Единично отмечена рябина обыкновенная (до 50 шт./га) высотой до 2,0 м, состояние удовлетворительное, одна ива козья (высота до 1,5 м), один дуб (0,1 м) и единично крушина ломкая (0,5 м).

При последнем учете (2005 г.) количество можжевельника стало еще меньше (до 0,5 м), состояние удовлетворительное; рябины осталось 20 шт./га (1,0...3,0 м), состояние удовлетворительное.

Рассмотрим динамику индикаторного компонента типа леса – живого напочвенного покрова. При описании в 1946 г. травяно-кустарничковый ярус был развит хорошо и покрывал до 70 % площади. Фон создавали черника (5...6 баллов по 10-балльной шкале облилия-покрытия) и брусника (4...5 баллов), местами выделялись куртинки майника (местами 3 балла), седмичника (местами 3...4 балла) и линнеи (местами 4...5 баллов). Другие виды встречались редко: марьянник (1...2 балла), плаун сплюснутый (2 балла), орляк (1 балл), гудайера (1 балл), ожика (1 балл), плаун годовалый (1 балл), вереск (2 балла), овсяница красная и ястребинка зонтичная (ед.).

Моховой покров был развит хорошо и сплошь покрывал почву. Преобладали плеуроциум Шребера (60 %) и гилокомий блестящий (30 %). Из других видов пятнами встречались пtilий гребенчатый (3...4 балла), дикранум волнистый (3 балла), реже политрих обыкновенный (1...2 балла) и сфагнум Гиргензона (1...2 балла).

Через 30 лет в травяно-кустарничковом ярусе фоновыми видами стали черника (40 %), брусника (10 %), линнея (10 %), орляк (10 %). Исчезли марьянник, овсяница красная, ястребинка зонтичная. Появились щитовник игольчатый (1 балл) и вейник лесной (ед.).

Из мхов фон образовывали плеуроциум Шребера (40 %), гилокомий блестящий (20 %) и дикранум волнистый (30 %). Меньше стало птилия (ед.), сфагнома Гиргензона (ед.), политриха обыкновенного (ед.).

Еще через 30 лет в травяно-кустарничковом ярусе фон создавали черника (30 %), брусника (10 %), майник двулистный (5 %), орляк обыкновенный (5 %). Остальные виды остались в небольшом обилии (1...2 балла). В моховом ярусе фоновыми были плеуроциум Шребера (30 %), гилокомий блестящий (40 %) и дикранум волнистый (20 %). Разросся сфагнум Гиргензона на площади около 200 м<sup>2</sup>. Появились пятна мертвого покрова (до 25 м<sup>2</sup>).

Анализ изменения напочвенного покрова как индикатора почвенно-гидрологических условий за исследованный 55-летний период показал, что в рассматриваемом типе леса фоновыми видами травяно-кустарничкового яруса всегда оставались черника и брусника, и по ним тип леса назывался сосняк ягодниковый. В моховом покрове происходили флуктуационные изменения, но всегда в этой динамике участвовали только зеленые мхи. Поэтому с позиций динамической типологии [4] рассматриваемый тип леса можно считать как очень устойчивый тип-этап в развитии сосняка ягодниково-зеленомошного, произрастающего вдали от водохранилища, в зоне его косвенного влияния. Это существенно отличает ход роста рассматриваемого типа от зеленомошных сосняков, произрастающих в зоне прямого влияния водохранилища.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов К.Н. Влияние крупных равнинных водохранилищ на леса прибрежной зоны. Л.: Гидрометиздат, 1975. 126 с.
2. Леонтьев А.М. Из материалов изучения режима почвенно-грунтовых вод в характерных типах леса // Тр. Дарвинского заповедника. Вологда, 1968. Вып. 9. С. 5–42.
3. Лесная вспомогательная книжка / Тюрин А.В. [и др.]. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1956. 532 с.
4. Мелехов И.С. Лесоведение: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
5. Писанов В.С. Изменения в сосняках черничниках, произрастающих в условиях влияния водохранилища // Ботанические исследования в заповедниках РСФСР. М., 1984. С. 78–85.
6. Писанов В.С. Многолетняя динамика лишайниковых сосняков, произрастающих в условиях влияния водохранилища // Тр. Дарвинского заповедника. Череповец, 2006. Вып. 16. С. 145–152.
7. Писанов В.С. Рост и развитие лишайниково-зеленомошных сосняков в условиях влияния Рыбинского водохранилища // Структура и динамика растительности и почв в заповедниках РСФСР. М., 1982. С. 39–51.
8. Писанов В.С. Четыре десятилетия в условиях влияния водохранилища: динамика лишайниковых сосняков // Динамическая типология леса. М.: Агроиздат, 1989. С. 192–197.
9. Писанов В.С. Этап формирования сосняка ягодниково-зеленомошного в условиях заповедности и влияния водохранилища // Лесн. журн. 1991. № 4. С. 111–113. (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Успенская А.А. Материалы к изучению почвенного покрова основных типов лесов Дарвинского заповедника // Тр. Дарвинского заповедника. Вологда, 1968. Вып. 9. С. 123–181.

Поступила 07.12.09

*V.S. Pisanov, A.K. Mukhin*  
Darwin Nature Reserve

### **Dynamics of Moss Pine Stands in the Area of Indirect Impact of Rybinsk Reservoir**

The paper shows changes in a berry-bearing moss pine stand located in a "low ridge" among water-logged pine forests in the area of indirect impact of the reservoir. The study covers a 60-year period. To analyze the type of wood changes we applied I.S. Melekhov's dynamic typology. It was established that over the past period the forest type preserved its main features and can be referred to the slow-dynamic type: berry-bearing moss pine stand.

*Key words:* areas of direct and indirect impact of the reservoir, dynamic forest typology, type.



УДК 630\*52:630\*174.754

**М.П. Воронов, В.А. Усольцев, В.П. Часовских, И.С. Лазарев, Н.В. Сенчило**

Уральский государственный лесотехнический университет

Воронов Михаил Петрович родился в 1980 г., окончил в 2003 г. Уральский государственный лесотехнический университет и в 2005 г. Институт международных связей, кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента и внешнеэкономической деятельности предприятия УГЛТУ. Имеет около 50 научных публикаций в области автоматизированных систем управления, информационных технологий, дистанционного образования.

E-mail: mstrk@yandex.ru



Усольцев Владимир Андреевич родился в 1940 г., окончил в 1963 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Уральского государственного лесотехнического университета, заслуженный лесовод России, главный научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН. Имеет более 500 печатных работ по проблемам оценки и моделирования биологической продуктивности лесов.

E-mail: Usoltsev50@mail.ru



Часовских Виктор Петрович родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Уральский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник ВШ РФ, академик РАЕН и РАИН, декан факультета экономики и управления Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 200 печатных работ, в том числе по вопросам применения информационных технологий и моделирования в лесопромышленном комплексе.

E-mail: \_vip@uafeu.ru



Лазарев Иван Сергеевич родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Уральский институт государственной пожарной службы МЧС России, аспирант Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 10 печатных работ по проблемам оценки продуктивности лесов.

E-mail: ivanlazarev1987@mail.ru



Сенчило Наталья Валерьевна окончила в 2011 г. Уральский институт государственной пожарной службы МЧС России, аспирант Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 10 печатных работ в области оценки продуктивности лесов.

E-mail: Natys9i@mail.ru



### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КАРТИРОВАНИЯ ДЕПОНИРУЕМОГО ЛЕСАМИ УГЛЕРОДА В СРЕДЕ СУБД ADABAS**

Путем совмещения баз данных о фитомассе и чистой первичной продукции по лесничествам Уральского региона\* рассчитаны общий углеродный пул фитомассы лесов и годичное депонирование углерода в фитомассе. Алгоритм впервые реализован

\* По состоянию на 2007 г.

в среде СУБД ADABAS, с помощью которой все расчеты по депонированию углерода в лесах Уральского региона можно актуализировать в автоматическом режиме.

*Ключевые слова:* информационные системы, углеродный пул, депонирование углерода, лесной покров, регрессионные уравнения, автоматическая актуализация, карты-схемы.

Перевод «бумажной» базы данных о биопродуктивности лесных экосистем в формат СУБД ADABAS дает возможность не только ее реструктуризации и группировки данных по методам их получения и задаваемым наборам показателей, но и автоматизированного совмещения ее с картами лесов, базами данных о фитомассе и чистой первичной продукции (ЧПП) и Государственного учета лесного фонда (ГУЛФ), традиционными таксационными нормативами и т. д.

Предварительно был разработан расчетный алгоритм, позволяющий оценить запасы углерода и его годовое депонирование на лесопокрытой площади 106 млн га для каждого из 305 лесничеств Уральского региона (Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа, республики Коми и Башкортостан, Тюменская, Свердловская, Челябинская, Курганская, Оренбургская области, Пермский край). В основе расчетного алгоритма лежит процедура совмещения баз данных фитомассы и ЧПП с базой данных ГУЛФ\* (рис. 1).

Из сформированной базы данных о запасах фитомассы в насаждениях основных лесообразующих древесных пород Северной Евразии [3, 4] для Урала и прилегающих к нему регионов отобрано 1400 определений. Данные о фитомассе проанализированы в связи с возрастом и запасом древостоев как основными определяющими массообразующими показателями, входящими в сводки ГУЛФ. Модели, описывающие зависимость фитомассы в абсолютно сухом состоянии ( $P_i$ , т/га) каждой фракции (стволы, ветви, хвоя, корни, нижние ярусы, куда включены подлесок, подрост и напочвенный покров – соответственно  $P_{st}$ ,  $P_{br}$ ,  $P_f$ ,  $P_r$ ,  $P_u$ , т/га) от возраста ( $A$ , лет) и запаса ( $M$ , м<sup>3</sup>/га) древостоя, рассчитаны для каждой древесной породы отдельно:

$$\ln P_i = f[\ln A, (\ln A)^2, \ln M]. \quad (1)$$

Данные ГУЛФ по каждому лесничеству структурированы, т.е. представлены в виде таблиц распределения лесопокрытых площадей, занимаемых каждой породой, по запасу стволовой древесины и возрасту. Затем выполнено совмещение двух баз данных (фитомассы и ГУЛФ) путем табулирования моделей (1) по данным структурированных таблиц (см. рис. 1).

Структура моделей для ЧПП ( $Z_i$ , т/га) отличается от (1) тем, что в качестве независимых переменных она включает не только возраст и запас древостоя, но и запас фитомассы:

$$\ln Z_i = f(\ln A, \ln M, \ln P_i). \quad (2)$$

\* Для построения моделей (рис. 1, 2) использована база данных ГУЛФ последних инвентаризаций, до введения Лесного кодекса и реорганизации лесного хозяйства.

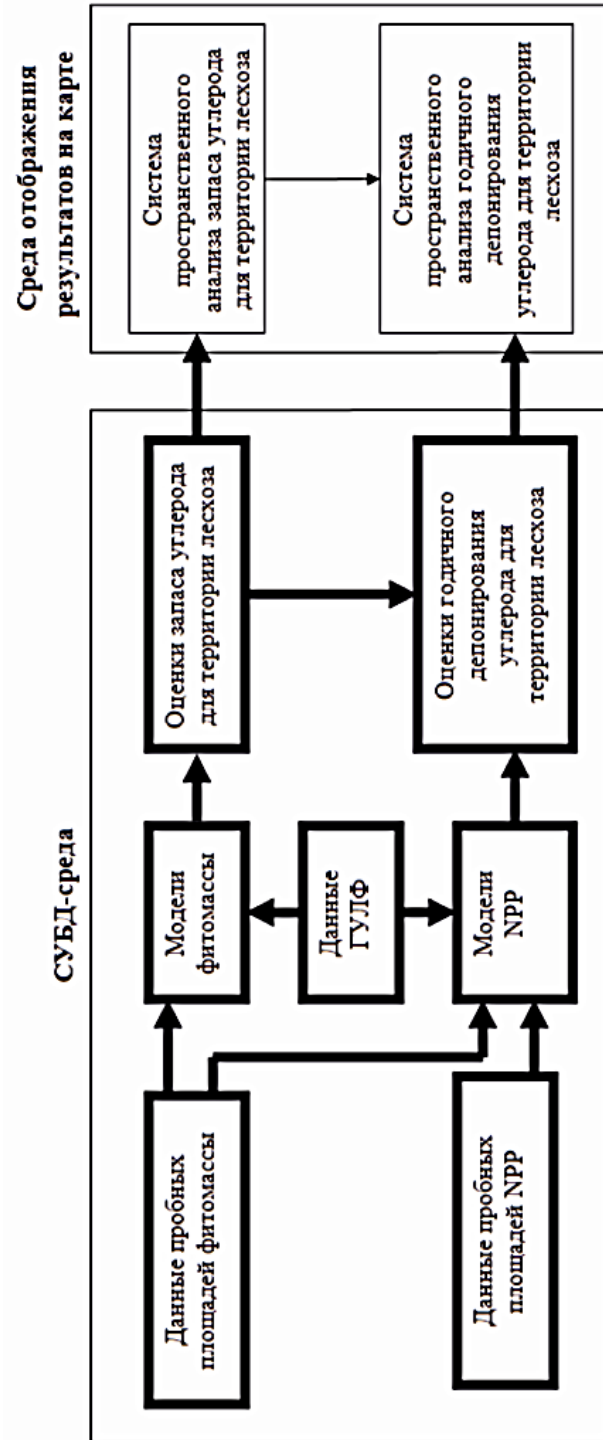


Рис. 1. Блок-схема общего расчетного алгоритма автоматизированной системы пространственного анализа запаса и депонирования углерода в территориальном комплексе



Рассчитанные модели (2) совмещаются не только с данными ГУЛФ, но и с результатами расчета фитомассы согласно (1). Тем самым имеется возможность экстраполяции данных фитомассы (запаса углерода) и ЧПП (годового депонирования углерода), полученных на пробных площадях, на лесопокрытую площадь территориального образования с учетом того, что количество фитомассы и содержащегося в ней углерода связаны соотношением 2:1.

Расчетный алгоритм (рис. 1) переведен в формат информационной системы средствами СУБД ADABAS с редактором приложений Natural [5]. Программный продукт СУБД ADABAS известен в России как высоконадежная и чрезвычайно производительная система для создания и эксплуатации больших баз данных на мейнфреймах [1].

Для получения коэффициентов регрессионных уравнений (КРУ) (1) и (2) использован способ Чебышева. Алгоритм расчета коэффициентов реализуется в виде специального программного кода. Для запуска алгоритма расчета регрессионных коэффициентов в рамках основного приложения редактирования внесенных данных созданы соответствующие элементы управления. Для изменения файла хранения исходных данных создается специализированное управляющее приложение. Элемент управления «Редактирование исходных данных» запускает приложение выбора переменных, которые будут включены в регрессионный анализ. В рамках данного приложения пользователь может редактировать уже имеющиеся исходные данные, добавлять новые или удалять некорректные. После сохранения результатов расчета уравнений запускается алгоритм пересчета всех ранее сохраненных итоговых значений.

Создаются следующие элементы (файлы): 1 – приложения просмотра, внесения и изменения значений фитомассы и ЧПП по каждому лесничеству; 2 – автоматизированный расчет значений фитомассы и ЧПП для всех лесничеств; 3 – типовые отчетные формы, отображающие результаты расчета значений фитомассы и ЧПП; 4 – карты в ГИС, отображающие границы лесничеств Уральского региона и значения фитомассы и ЧПП по каждой древесной породе и каждому лесничеству, а также суммарные значения по всем породам одного лесничества.

Структура и взаимосвязи элементов предложенной информационной системы отражены на схеме (рис. 2). Создано шесть типовых отчетных форм, при помощи которых оценивается углероддепонирующая способность лесов в Уральском регионе. Эти отчеты формируются на основе шести основных запросов к базам данных системы. Запуск запросов производится из главного управляющего приложения.

Для вывода итоговых данных на интерактивную карту использована ГИС «Карта 2008», версия 10.5.2, с помощью которой созданы две карты лесничеств по Уральскому региону: для отображения значений фитомассы и ЧПП. В каждой карте задается по одному слою для 10 пород, по одному слою для отображения суммарных значений фитомассы и ЧПП. На карте для

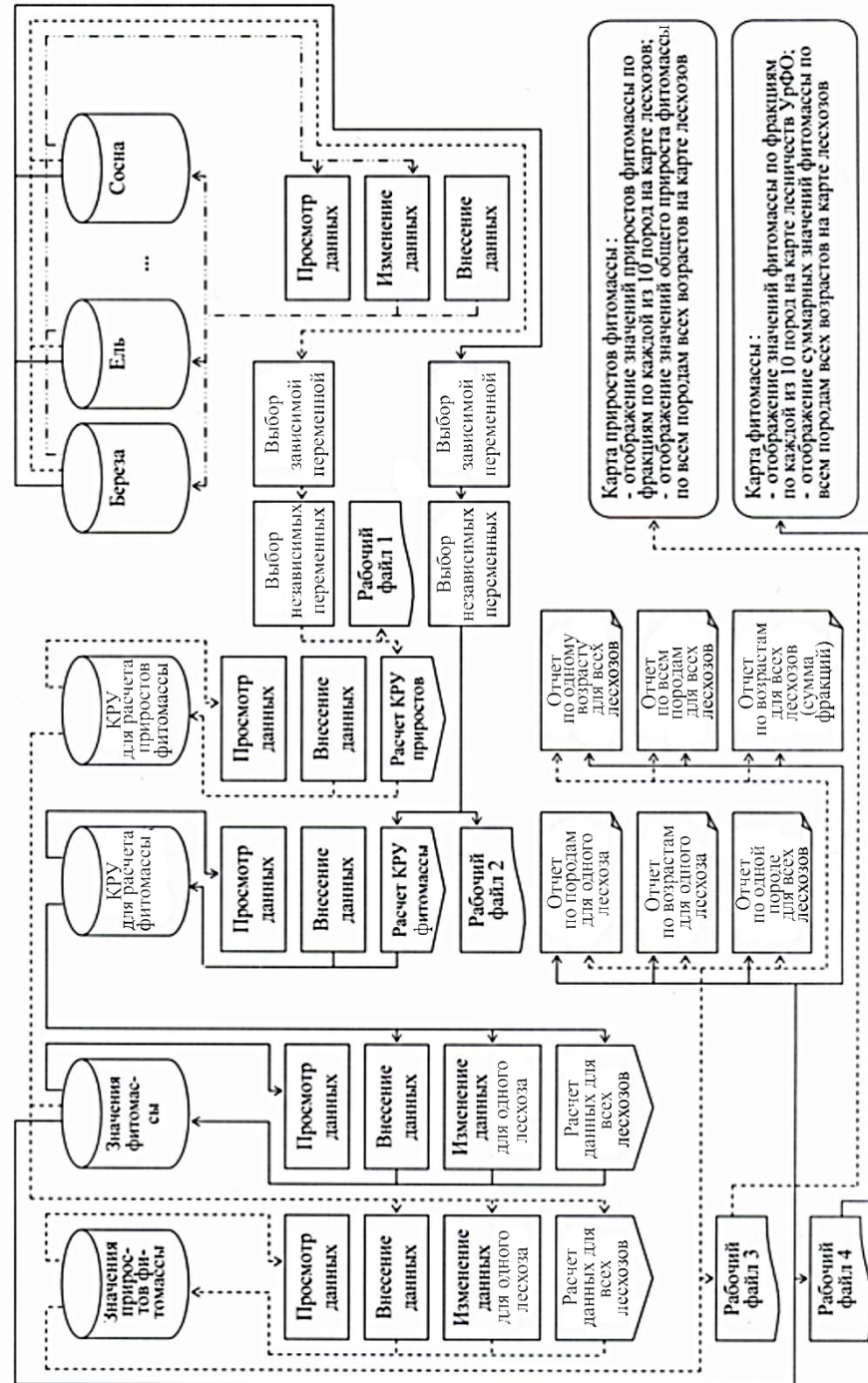


Рис. 2. Структура и взаимосвязи элементов информационной системы

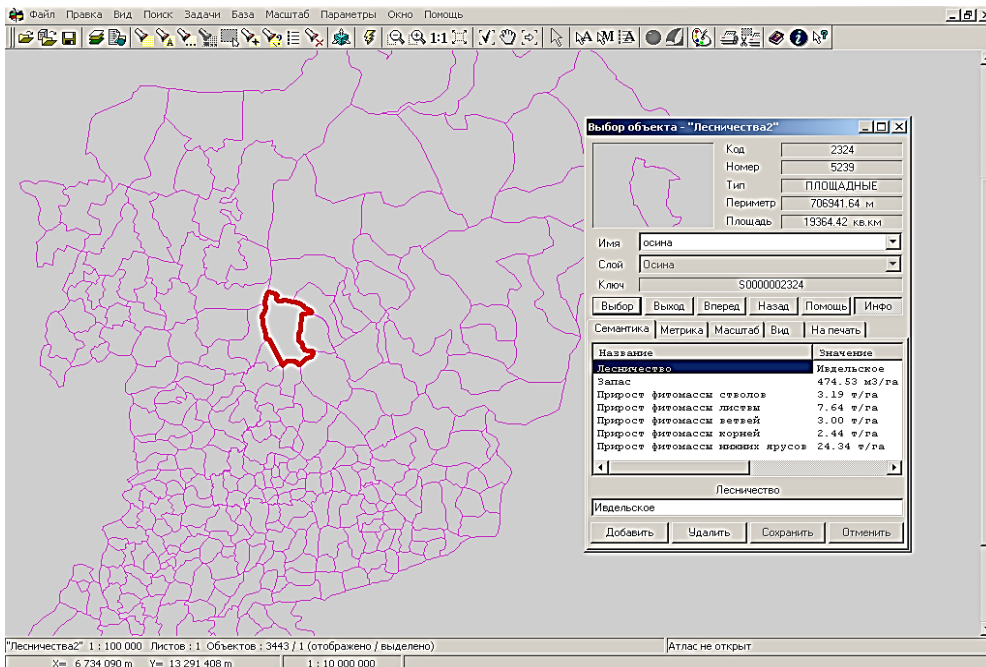


Рис. 3. Отображение в электронном виде прироста фитомассы по фракциям для каждой породы по каждому лесничеству

каждого лесничества создается системный объект, отображающий границы лесхоза и имеющий уникальный номер. Включая системный слой, содержащий системные объекты, каждая из карт содержит по 12 слоев. Информация о фитомассе и ЧПП для древесных пород и лесничеств доступна при перемещении по соответствующим слоям карты. Результирующее отображение значений на карте показано на рис. 3.

### Выводы

1. Путем совмещения баз данных о фитомассе и ЧПП по 305 лесничествам Уральского региона (10 территориальных образований) рассчитаны общий углеродный пул фитомассы лесов (4556 млн т) и годовичное депонирование углерода в фитомассе (271 млн т). Алгоритм расчетов впервые реализован в среде СУБД ADABAS. С помощью разработанной информационной системы все расчеты по депонированию углерода в лесах Уральского региона можно актуализировать в автоматическом режиме.

2. Впервые составлена карта-схема распределения углеродного пула по лесничествам. Карты-схемы охватывают природные подзоны от лесотундры до степи и демонстрируют повышение углеродного пула лесов в направлении

от лесотундры (10 т/га) к южной тайге (52 т/га) и последующее его снижение с лесостепи до 39 т/га. Годичное депонирование углерода соответственно возрастает от 0,5 до 3,7 т/га, а затем снижается до 2,9 т/га [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брусенков И.В., Кондратенков В.А., Силин В.Д. ADABAS – основа семейства программных продуктов фирмы «Software AG» для создания корпоративных баз данных. 1996. Режим доступа: <http://www.citforum.ru/database/kbd96/510.shtml>.
2. Депонирование и динамика углерода в фитомассе лесов Уральского региона / В.А. Усольцев, В.А. Азаренок, Е.В. Бараковских, Н.В. Накай // Лесная таксация и лесоустройство. 2009. № 1(41). С. 108–115.
3. Сравнительный анализ надземной фитомассы культур сосны Урала и Западной Сибири / В.А. Усольцев [и др.]. // Лесн. журн. 2005. № 3. С. 34–42. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.
5. Часовских В.П., Воронов М.П., Фатеркин А.С. Информационные технологии в управлении: СУБД ADABAS и проектирование приложений средствами Natural. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2006. 476 с.

Поступила 10.07.10

*M.P. Voronov, V.A. Usoltsev, V.P. Chasovskikh, I.S. Lazarev, N.V. Senchilo*  
The Ural State Forest Engineering University

#### **Automated System for Identification and Mapping of Forest Carbon Depositions when using ADABAS System**

By combining databases on phytomass and net primary production for Ural region forest districts, the total carbon pool of the forest phytomass and annual carbon deposition in the phytomass were calculated. It is the first time that the calculation algorithm is used in the ADABAS database. With the help of the information system developed, all calculations for carbon deposition in the Ural region forests can be updated automatically.

*Key words:* information systems, carbon pool, carbon deposition, forest cover, regression equations, automatic update, sketch maps.

УДК 630\*18

**С.И. Смирнов<sup>1</sup>, Л.А. Юркова<sup>2</sup>, В.А. Кучук<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Брянская государственная инженерно-технологическая академия

<sup>2</sup>Филиал ФБУ «Центр защиты леса Смоленской области»

<sup>3</sup>Филиал ФБУ «Центр защиты леса Калужской области»

Смирнов Сергей Иванович родился в 1951 г., окончил Брянский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоустройства, лесозащиты и охотоведения Брянской государственной инженерно-технологической академии, заслуженный лесовод РФ. Имеет свыше 80 печатных работ в области лесозащиты, охотоведения, инвентаризации, устройства и мониторинга биоресурсов лесных и других экосистем.

E-mail: Si-Smimov@yandex.ru



Юркова Людмила Александровна окончила в 2003 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, инженер-лесопатолог Филиала ФБУ «Центр защиты леса Смоленской области». Имеет 4 печатных работы в области инвентаризации, устройства и мониторинга биоэкологического разнообразия ресурсов древесных растений лесных экосистем.

E-mail: yla2805@yandex.ru



Кучук Вадим Александрович родился в 1985 г., окончил в 2005 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, начальник Филиала ФБУ «Центр защиты леса Калужской области». Имеет 4 печатных работы в области инвентаризации, устройства и мониторинга водных угодий и рыбных ресурсов в лесном и других земельных фондах.

E-mail: kuchuk\_vadim@mail.ru



## **К ВОПРОСУ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ БИОРЕСУРСАМИ ЛЕСНЫХ И ДРУГИХ ЭКОСИСТЕМ**

Представлены методические основы дифференциации территорий для целей управления биоресурсами.

*Ключевые слова:* типы угодий, группы и варианты типов угодий.

Изучение биологических ресурсов – одно из ключевых направлений академических исследований и один из приоритетов отечественной биологической науки в целях развития новых методологических подходов и технологий использования ресурсных видов и биотических сообществ с сохранением их восстановительной способности и повышением репродукционного потенциала, что отвечает принципам сохранения и расширения биоресурсной базы страны и решения задач по разработке концептуальных и методологических основ управления биологическими ресурсами [2].

© Смирнов С.И., Юркова Л.А., Кучук В.А., 2013

В общем виде разнообразие среды обитания популяционно-ландшафтных группировок (ПЛГ) биологических объектов животного и растительного происхождения [5], отнесенных к биоресурсам в зависимости от целей исследований, может быть представлено в форме природных территориальных комплексов (ПТК), природных аквальных комплексов (ПАК) и административных территориальных комплексов (АТК) различного ранга.

На континентальном (ландшафтная страна) и региональном (ландшафтная область, ландшафтный район) уровнях разнообразие ПТК территории исследований обозначалось в соответствии с системой, разработанной Д.М. Киреевым и В.Л. Сергеевой [1].

При анализе территорий внутри ландшафтов, наряду с общепринятыми их морфологическими составляющими (ландшафтная местность, ландшафтное урочище и ландшафтная фация), для целей биоресурсных исследований применялось широко используемое обобщающее понятие – угодье, представляющее собой, согласно [3, с. 523], «... 1) общее наименование любых участков территории, сравнительно однородных или объединенных какими-то признаками (например: травяные, кустарниковые угодья). В приложении к животным приблизительно то же, что биотоп или местообитание; 2) участок территории или акватории, используемый в определенных хозяйственных целях (земельные, лесные, охотничьи, рыбные и т.д. угодья)».

Применительно к биоресурсам, вообще, и ресурсам охотничьих животных, в частности (объекты исследования С.И. Смирнова), из общей площади земельного фонда РФ (Центральный федеральный округ), равной 1 709 800 тыс. га (65 020,5 тыс. га), средой их обитания может быть признано 97,9 % (91,1 %) территории, представленной: землями сельскохозяйственного назначения – 23,5 % (60,9 %); особо охраняемыми природными территориями – 2,0 % (1,0 %); землями лесного фонда – 64,6 % (25,4 %); землями водного фонда – 1,6 % (1,2 %); землями запаса – 6,2 % (2,6 %). В состав среды обитания охотничьих животных не включены земли поселений и земли промышленности, суммарно составляющие 2,1 % (8,9 %).

Практический опыт охотохозяйственного и других видов природного проектирования показывает, что использование ведомственных наработок и научных классификаций по разным причинам не всегда технически возможно. В этой связи для целей унификации дифференциации угодий как среды обитания биологических объектов предложено применять в пределах крупных ПТК (ландшафты, ландшафтные районы, области и провинции) следующую систему иерархических единиц: группы типов угодий (ГТУг) → типы угодий (ТУг) → варианты типов угодий (ВТУг).

Группы типов угодий следует выделять, в первую очередь, по принадлежности объекта исследования к акватории (водная ГТУг) или территории.

Территории, в свою очередь, предложено дифференцировать на группы типов угодий преимущественно по признакам произрастающей естественной растительности (лесная, кустарниковая, луговая группы типов угодий), наличием

интенсивного использования земель в сельскохозяйственных целях (полевая ГТУг) или особенностям увлажнения почв (болотная ГТУг). Так, например, в Брянской области (3 485,7 тыс. га) было выделено 6 ГТУг: лесная (32,9 %), кустарниковая (15,2 %), луговая (15,8 %), полевая (33,1 %), болотная (2,1 %) и водная (0,9 %).

В пределах групп типов угодий типы угодий и варианты типов угодий выделялись или на основе уже существующих в пределах конкретных научных дисциплин классификаций или специально разработанных схем. Так, лесная ГТУг на лесные типы угодий дифференцировалась в зависимости от состава насаждений, а на варианты лесных типов угодий – с учетом возраста насаждений и других таксационных показателей.

В случае необходимости, в зависимости от целей и задач исследования, представлялось возможным на базе простых составляющих угодий выделять их более сложные образования в пределах ГТУг (лесо-кустарниковая, кустарниково-лугово-полевая и т.д.), ТУг (сосново-еловый, елово-дубово-осиновый и т.д.) и ВТУг (елово-березово-осиновый молодняк, сосново-еловое средневозрастное насаждение без подроста, сосново-елово-дубовое старовозрастное насаждение с подростом и т.д.).

Дифференциация лесной ГТУг на ТУг для целей исследования биоэкологического разнообразия ПЛГ древесных растений, произрастающих в условиях повышенного температурного режима и влажности (совместный объект исследования С.И. Смирнова и Л.А. Юрковой) в лесном массиве площадью более 1,5 тыс. га, расположенном на берегу теплого водохранилища Смоленской АЭС (Десногорское городское лесничество Смоленской области, Екимовичский ландшафт Смоленско-Московской физико-географической провинции), осуществлена на основе выделения следующих типов лесных угодий: сосновый (32,8 %), еловый (24,8 %), березовый (32,9 %), осиновый (6,7 %), черноольховый (2,2 %) и липовый (0,6 %). Дальнейшее их подразделение на ВТУг проведено с учетом их приуроченности к ландшафтным урочищам на основе таксационных и других характеристик.

Для оценки разнообразия водной ГТУг как среды обитания рыб (рыбные ресурсы) и других гидробионтов в лесном и других земельных фондах Брянской области (совместный объект исследования С.И. Смирнова и В.А. Кучук) выделены в пределах крупных ландшафтных образований (ландшафты, ландшафтные районы) следующие водные типы угодий: реки (0,91 % от территории области), озера (2,43 %), пруды и водохранилища (2,23 %). Варианты водных ТУг выделялись с учетом их принадлежности к природным территориальным комплексам в ранге местностей и урочищ с учетом их общепринятых классификаций по размерам (например, реки: мельчайшие, самые маленькие, малые, средние, большие).

Использование единой схемы дифференциации среды обитания биологических объектов позволило оптимизировать методические подходы, связанные с оценкой разнообразия региональных биоресурсов для целей

управления и мониторинга [5, 6], в том числе при разработке комплексных планов управления интегральными биоресурсами лесных и других экосистем. Кроме того, представляется возможным применить предложенную схему дифференциации территорий и акваторий при обосновании учебных, научных и познавательных туристско-рекреационных маршрутов на туристско-рекреационном ландшафтно-экологическом профиле под общим названием «Природные территориальные комплексы России от Белого до Черного морей», формируемого в рамках научно-исследовательских работ на кафедре лесоустройства, лесозащиты и охотоведения БГИТА, связанных с научным и методическим обоснованием развития лесного и охотничьего туризма в лесном фонде РФ в контексте с деятельностью Русского географического общества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Киреев Д.М., Сергеева В.Л.* Природные территориальные комплексы России: учеб. пособие. СПб.: СПбЛТА, 2000. 100 с.
2. Программа исследования биоресурсов РАН РФ. Основные источники, с которых производилась индексация: Российское экологическое информационное агентство «РЭФИА». URL: [www.refia.ru](http://www.refia.ru) НИА-Природа. URL: [old.priroda.ru](http://old.priroda.ru) Hunting Art Technology. URL: [www.huntingart.ru](http://www.huntingart.ru)
3. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
4. *Смирнов С.И.* Биотуристические ресурсы лесных и других экосистем и перспективы их освоения на территории европейской части России // Лесн. журн. 2011. № 2 (320). С. 46–48. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Смирнов С.И.* Оценка разнообразия и состояния региональных и локальных популяций видов деревьев – основных эдификаторов и доминантов современного лесного пояса // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. М.: Наука, 2004. С. 324–337.
6. *Смирнов С.И.* Теоретические и методические основы оценки разнообразия региональных биоресурсов для целей управления и мониторинга // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы III Всерос. науч. конф. (27.01–01.02. 2008 г.). Йошкар-Ола; Пушино, 2008. С. 633–634.

Поступила 15.09.10

*S.I. Smirnov<sup>1</sup>, L.A. Yurkova<sup>2</sup>, V.A. Kuchuk<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Bryansk State Engineering and Technological Academy

<sup>2</sup>Branch of the Federal Budget Institution “Forest Protection Centre in Smolensk Region”

<sup>3</sup>Branch of the Federal Budget Institution “Forest Protection Centre in Kaluga Region”

#### **To the Question of Area Differentiation for Managing Bioresources and other Ecosystems**

The article presents a methodological basis for area differentiation for bioresource management.

*Key words:* land types, groups and variants of land types.



УДК 630\*165.4:630\*176.232.3

**А.И. Сиволапов, А.И. Чернодубов, В.А. Сиволапов**

Воронежская государственная лесотехническая академия

Сиволапов Алексей Иванович родился в 1949 г., окончил в 1968 г. Хреновской лесхоз-техникум им. Г.Ф. Морозова, в 1972 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 150 научных работ в области генетики, селекции, размножения и создания культур быстрорастущих древесных пород.

E-mail: leskul@vglta.vrn.ru; Aleksey-Sivolapov@yandex.ru



Чернодубов Алексей Иванович родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет около 150 печатных работ в области генетики, селекции, искусственного лесоразведения древесных пород России.

E-mail: leskul@vglta.vrn.ru



Сиволапов Владимир Алексеевич родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ВГЛТА. Имеет 17 печатных работ в области лесных культур, селекции и биотехнологии.

E-mail: leskul@vglta.vrn.ru



## **ОПЫТНЫЕ КУЛЬТУРЫ ТОПОЛЯ НА ВЫРУБКАХ УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА ВГЛТА**

Рассмотрен опыт создания культур тополя на осиновых вырубках Центральной лесостепи, предложена технология их подготовки под лесные культуры. Дана характеристика шести сортообразцов тополя, отобран лучший (евроамериканский тополь Ренерата) для расширения лесосырьевой базы в регионе.

*Ключевые слова:* вырубка, корневые отпрыски осины, культуры тополя.

Тополь широко используется для плантационного лесовыращивания как наиболее быстрорастущая древесная порода умеренных широт [3, 4, 6, 7].

Благоприятные природные и экономические условия Центрально-Черноземного района (ЦЧР) успешно используются сельскохозяйственным производством. Поэтому в лесокультурном фонде открытых площадей мало, а лесные культуры создают в основном на вырубках. В статье на конкретном примере создания культур в сложных условиях осиновых вырубок рассматриваются возможности интенсивного выращивания тополей в регионе.

Значительные площади в ЦЧР занимают низкокачественные производные осинники. В освоенных лесах осина широко участвует в смене пород [5].

---

© Сиволапов А.И., Чернодубов А.И., Сиволапов В.А., 2013

К сожалению, такие положительные свойства осины, как обильное вегетативное возобновление и быстрота роста, не всегда являются благоприятными. Часто в районах с интенсивным лесным хозяйством осина на вырубках почти полностью поражена сердцевинной гнилью с молодого возраста. Спелые и перестойные осинники сильно повреждены стволовой гнилью, имеют крайне низкий выход древесины.

В первый год после рубки материнских древостоев с участием осины (от 1 до 10 ед. в составе) на вырубках происходит обильное появление корневых отпрысков. Их количество может достигать до 200 тыс. шт./га, средняя высота в конце первого года – 1,0...1,5 м. С возрастом количество корневых отпрысков уменьшается, их высота увеличивается. Так, в возрасте 7 лет на 1 га остается около 20...40 тыс. окрепших отпрысков осины. Они формируют широкую крону, смыкаются и создают чистый осинник, средняя высота которого около 4,0 м. Под полог такого осинника проходит очень мало света (4...5 % от открытого места). Поэтому выжить под пологом осины искусственно вводимым древесным породам в таких жестких условиях очень трудно.

При создании лесных культур на подобных вырубках в первую очередь следует предупредить появление корневых отпрысков осины, которые являются основной причиной их гибели. Подавление корнеотпрысковой способности осины на вырубках производится механическим способом путем дискования [2]. Способ позволяет снизить трудозатраты и повысить эффективность борьбы с корневыми отпрысками осины на вырубках при создании лесных культур ценных пород.

Выполняется способ следующим образом. На свежих вырубках, возобновляющихся корнеотпрысковой осинкой, предварительно удаляют вровень с поверхностью почвы надземную часть всех пней. Через 3...4 нед., в период гетеротрофного их питания, производят механическую обработку почвы путем перекрестного дискования. При дисковании вырубки происходит измельчение надземной части отпрысков и заделка их в почву, рыхление почвы на глубину до 15...20 см и разделение поверхностных корней на части, оптимальный размер которых составляет 25 см. Такие отрезки корней лучше выбрасываются на поверхность почвы, теряют связь с материнской корневой системой и быстрее истощают запасные питательные вещества, что приводит к подавлению способности осины образовывать новые отпрыски. В случае повторного появления отпрысков осины механическую обработку повторяют.

После рубки древостоя на вырубках необходимо провести сплошное удаление надземной части всех пней с помощью машин МУП-4 или бензомоторных пил и других устройств. Наиболее подходящим для этих условий является почвообрабатывающее устройство с автономным (клавишным) креплением дисковых рабочих органов [1]. При его использовании хорошо копируется микрорельеф участка, перерезываются корни в почве и надземная часть молодых деревьев и кустарников диаметром до 4 см.

Исследования показали, что эффективность способа подавления корнеотпрысковой способности осины на вырубках зависит от срока проведения обработки почвы и увязана с появлением корнеотпрыскового возобновления.

Опыты по перекрестному дискованию вырубков в разные сроки после появления отпрысков осины показали следующее. Значительное подавление корнеотпрысковой способности осины наблюдалось при дисковании вырубков через 3...4 нед. после появления отпрысков, их количество составляло 1,0...1,1 тыс. шт./га, или 0,8 % от контроля. Отсрочка с перекрестным дискованием до 6...10 нед. привела к увеличению корневых отпрысков на вырубке в 4...21 раз по сравнению с 5-недельным сроком.

При изучении влияния размеров отрезков корней (перекрестное дискование производили через 4 нед. после появления отпрысков) на количество появляющихся отпрысков на вырубках самый лучший эффект получен при измельчении корней на отрезки длиной 10...25 см. В конце вегетационного периода количество отпрысков в этих вариантах составляло всего 0,8...1,0 тыс. шт./га. Увеличение длины отрезков корней до 60 см резко (в 5–50 раз) увеличивало количество корневых отпрысков. Результаты исследований также показали, что наибольшее количество корневых отпрысков по всем вариантам наблюдалось через 20 дн. после перекрестного дискования, к концу вегетативного периода оно увеличилось незначительно.

Таким образом, за счет оптимального режима дискования на свежих осиновых вырубках можно полностью подавить способность осины образовывать корневые отпрыски, т.е. засорять площади, пригодные для выращивания других пород. Предлагаемый способ в 2–3 раза снижает трудозатраты на борьбу с корнеотпрысковой осиной по сравнению со способом, включающим корчевку пней на вырубках. Кроме того, при дисковании возобновившихся осиной свежих вырубков в почву поступает большое количество зеленого удобрения, что обеспечивает повышение ее плодородия и лучшие условия роста и развития культивируемых пород в последствии.

После обработки почвы проведены последующие приемы лесокультурного процесса:

механизированная посадка культур тополя прямолинейными рядами с размещением  $5,0 \times 3,0$  м;

агротехнический уход за культурами по всей площади дисковыми культиваторами КЛБ-1,7 или КЛДК-2,5 (всего 9 уходов (3-3-2-1)).

С использованием разработанного способа в учебно-опытном лесхозе ВГЛТА на свежих осиновых вырубках были заложены испытательные плантационные культуры лучших сортобразцов тополя. Почва на участках – темно-серая лесная супесчаная, тип лесорастительных условий произрастания –  $C_2(C_3)$ , количество пней – 650...750 шт./га.

Экспериментальные плантационные культуры тополей заложены весной 1994 г. при разработке инновационного проекта по ускоренному выращи-

ванию древесных пород. Зимние одревесневшие черенки получены из НИИЛГиС. Вырубка площадью 3,6 га подготовлена по технологии ВГЛТА, тип лесорастительных условий – С<sub>2</sub>. В опыт внедрены сортообразцы евроамериканских тополей, рекомендованные к широкому внедрению [6]. Высажены тополя рендомизированными рядами в 4-кратной повторности.

Следует отметить, что первый вегетационный период для роста тополей был неблагоприятен: сухая с сильными ветрами весна 1994 г. и холодное дождливое лето. Приживаемость в опыте 90...95 %. Сохранность растений составила в среднем 70 %, по сортообразцам – от 36 до 89 %. Связи сортообразцов с приживаемостью и сохранностью не установлено. Резкий отпад произошел в основном из-за повреждений растений дикими парнокопытными животными и в процессе ухода.

Средняя высота тополей в первый год создания культур составила 38 см, по сортообразцам – 28...50 см. В возрасте 14 лет проведена повторная инвентаризация тополей по высоте и диаметру (см. таблицу).

| Название тополя | Средняя высота ( $H \pm m$ ), м | Коэффициент вариации, % | Точность опыта, % | Средний диаметр, ( $D \pm m$ ), см | Коэффициент вариации, % | Точность опыта, % |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Брабантика № 56 | 18,6±0,54                       | 18,5                    | 3,0               | 19,0±0,62                          | 23,5                    | 3,5               |
| ЭС-38           | 19,6±0,43                       | 10,7                    | 0,8               | 19,4±0,58                          | 19,6                    | 2,5               |
| И-45/51         | 19,6±0,95                       | 13,8                    | 1,5               | 18,9±1,30                          | 25,8                    | 3,2               |
| R-16            | 17,6±0,99                       | 19,4                    | 2,7               | 18,6±1,17                          | 24,4                    | 3,5               |
| Регенерата № 90 | 21,7±0,89                       | 14,1                    | 2,3               | 18,5±0,85                          | 19,0                    | 2,0               |
| Черный гибрид   | 16,1±1,27                       | 20,8                    | 3,0               | 15,7±1,36                          | 27,4                    | 3,7               |

Лучшими показателями в 14 лет отличается евроамериканский тополь Регенерата, средняя высота 21,7 м. Попарное сравнение по критерию Стьюдента с другими сортообразцами показало, что различия достоверны при  $t = 0,05$ , по диаметру – не достоверны. Считаем, что в 15...20 лет, зимой или ранней весной, можно проводить рубку тополей. Оставшиеся пни дадут корневые отпрыски и поросль от пня, что позволит сформировать новое насаждение.

Таким образом, подбор перспективных сортообразцов тополя дает возможность положительно решить вопрос расширения лесосырьевой базы за счет создания плантационных культур на вырубках, используя технологию ВГЛТА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1021346. Почвообрабатывающее устройство/Дерюжкин Р.И., Нартов П.С., Посметьев В.И., Сухов И.В., Семенов В.И. // Бюл. № 21. 1983. 2 с.
2. А. с. 1581238 Способ борьбы с корнеотпрысковой осиной на вырубках / Дерюжкин Р.И., Сухов И.В. // Бюл. № 28. 1990. 4 с.
3. Сиволапов А.И. Теория и практика системных исследований генетики, селекции и размножения тополей в лесостепной зоне Центрального Черноземья России // Лесн. журн. 2008. № 6. С. 80–82. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. *Сиволапов А.И.* Тополь сереющий: генетика, селекция, размножение. Воронеж: ВГУ, 2005. 157 с.
5. *Стороженко В.Г., Михайлов Л.Е., Багаев С.Н.* Ведение хозяйства в осинниках. М.: Агропромиздат, 1987. 144 с.
6. *Царев А.П.* Сортоведение тополя. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1985. 152 с.
7. Poplar Silviculture: Plantations and Native Stands: Annual Meeting of the Poplar Council of Canada, 16–19 sept. 2003, Quebec. Canada: Rouyn-Noronda, 2003. 77 p.

Поступила 15.09.10

*A.I. Sivolapov, A.I. Chernodubov, V.A. Sivolapov*  
Voronezh State Academy of Forestry and Technologies

#### **Populus Test Crops in Felling Areas of VSAFT Research Forestry**

The experience of poplar forest plantations in Central Forestered Steppe was considered. The technology it's preparation for forest cultures was proposed. The characteristics of 6 poplar sort-examples was done. The best (Euro-american Regenerata poplar) was selected for spreading of raw base in region.

*Key words:* cutting area, the aspen root outgrowth, poplar forest cultures.

---

УДК 630\*161:582.4(470.11)

***Н.В. Овсянникова<sup>1</sup>, П.А. Феклистов<sup>1</sup>, Н.В. Волкова<sup>1</sup>, В.И. Мелехов<sup>1</sup>,  
А.М. Тараканов<sup>1</sup>, М.Д. Мерзленко<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>Институт лесоведения РАН

Овсянникова Наталья Валентиновна окончила в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры экологии и защиты леса САФУ.

E-mail: aspirant.10@mail.ru



Феклистов Павел Александрович родился в 1950 г. окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и защиты леса Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 200 печатных работ в области лесоведения и лесной экологии.

E-mail: feklitov@narfu.ru



Волкова Наталья Владимировна окончила в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, магистрант кафедры экологии и защиты леса САФУ.

E-mail: n.volkova@narfu.ru



Мелехов Владимир Иванович родился в 1939 г. окончил в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 250 печатных работ в области технологии высококачественной сушки, пропитки древесины и использования на основе новых технологий использования малоценной древесины и отходов деревообработки.

Тел.: 8(8182) 21-61-49



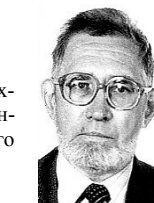
Тараканов Анатолий Михайлович родился в 1943 г. окончил в 1965 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 150 печатных работ в области изучения природы заболоченных лесов, эффективности гидроресомелиорации, моделировании роста и формирования осушаемых лесов и организации хозяйства в них.

E-mail: forestry@arh.ru



Мерзленко Михаил Дмитриевич родился в 1946 г. окончил в 1969 г. Московский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Института лесоведения РАН. Имеет около 300 печатных работ в области лесокультурного дела и истории лесной науки.

Тел.: 8-909-683-40-31



© Овсянникова Н.В., Феклистов П.А., Волкова Н.В., Мелехов В.И., Тараканов А.М., Мерзленко М.Д., 2013

## ТЕМПЕРАТУРА ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ

Приведены данные о возможности использования температуры древесины в качестве параметра для диагностики состояния деревьев; рассмотрено влияние возраста деревьев на температуру древесины.

*Ключевые слова:* температура древесины, ксилема, шейка корня, категория состояния, возраст дерева.

Ель обыкновенная (*Picea abies* Karst.), как и любые другие растения, относится к пойкилотермным организмам, температура тела которых определяется температурой окружающей среды. Чаще всего температура тканей таких организмов бывает выше или ниже, например, температуры воздуха [1]. В естественных условиях в древесине при изменении температуры окружающей среды, ввиду слабой теплопроводности, создается неоднородное температурное поле, вызывающее поляризационный эффект [6]. Новое направление в получении информации о физиологическом состоянии и жизнеспособности древесных растений основано на оценке тепловых параметров и обусловлено наличием тесной связи между состоянием деревьев, водным режимом и температурой древесины стволов [2].

Хотя температурный режим деревьев имеет очень важное значение для протекающих в организме физиологических процессов, изучен он крайне слабо. Данных о температуре древесины стволов ели обыкновенной на Севере вообще нет. В связи с этим была поставлена задача – исследовать температуру древесины стволов ели обыкновенной.

Исследования проводили на 10 пробных площадях, расположенных в Приморском районе Архангельской области (северная подзона тайги). Пробные площади закладывали в одном типе леса – ельнике черничном. Все исследуемые насаждения относятся к IV классу бонитета, некоторые из них имеют примесь березы повислой (*Betula pendula* Ehrh.), сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.). Возраст ельников колеблется в пределах 64...110 лет.

На каждой пробной площади методом случайного отбора выбирали 15 учетных деревьев. Состояние деревьев оценивали визуально по общепринятой шкале санитарного состояния [5]. Температуру древесины измеряли портативным цифровым мультиметром МУ 62 [6] с северной части стволов в местах, защищенных от прямого воздействия солнечных лучей: у шейки корня и на высоте 1,3 м (на глубине 50 мм). Кроме того, была измерена температура воздуха непосредственно у учетных деревьев. Все замеры проводили в период интенсивного роста с июня по август между 12 и 16 часами (табл. 1).

В результате исследования было установлено, что температура древесины стволов ели обыкновенной изменяется по высоте ствола: у шейки корня она на 1,0...2,0 °С меньше, чем на высоте 1,3 м. Таким образом, температура древесины у шейки корня ниже, а на высоте груди выше температуры воздуха. Вероятно, это определяется температурой поглощаемой воды. Вода, как

Таблица 1

**Изменение температуры (°С) древесины ели обыкновенной  
с июня по август (категория состояния – здоровые деревья)**

| Месяц    | Температура у шейки корня |          |      | Температура на высоте 1,3 м |          |      |
|----------|---------------------------|----------|------|-----------------------------|----------|------|
|          | $M \pm m$                 | $\delta$ | $t$  | $M \pm m$                   | $\delta$ | $t$  |
| Июнь     | 17,7±0,6                  | 3,1      | 29,5 | 19,5±0,3                    | 1,4      | 65,0 |
| Июль:    |                           |          |      |                             |          |      |
| начало   | 19,4±1,2                  | 6,8      | 16,2 | 21,4±1,0                    | 6,3      | 15,4 |
| середина | 25,8±0,5                  | 2,8      | 51,6 | 26,8±0,9                    | 5,0      | 29,8 |
| конец    | 30,6±0,7                  | 3,9      | 43,7 | 31,6±0,7                    | 3,9      | 45,1 |
| Август   | 22,4±0,6                  | 3,3      | 37,3 | 23,9±0,9                    | 5,0      | 26,6 |

Примечание.  $M$  – среднее значение;  $m$  – средняя квадратичная ошибка;  $\delta$  – среднее квадратичное отклонение;  $t$  – критерий достоверности.

известно, обладает наивысшей теплоемкостью. Поступающая из почвы в ствол вода холоднее воздуха, по мере передвижения по стволу она нагревается (а с ней и древесный ствол) на 1,5 °С на 1 м. Можно предположить, что чем выше по стволу, тем будет выше температура древесины.

Значительное влияние на температуру стволов, наряду с другими факторами, оказывает степень ослабления деревьев, реализуемая через изменение параметров водного тока по стволу. Наибольшая температура древесины у здоровых деревьев (как у шейки корня, так и на высоте груди) наблюдается в конце июля (соответственно 30,6 и 31,6 °С). Температура воздуха в этот период тоже высокая (до 31,0 °С). Наименьшая температура древесины отмечена в июне, что может быть связано с невысокими температурами окружающего воздуха и почвы.

Между температурой ствола у шейки корня и на высоте груди выявлена высокая прямая линейная связь. Коэффициент корреляции для июня составляет 0,63; для начала, середины и конца июля – соответственно 0,99; 0,91 и 0,91; для августа – 0,97. Данные достоверны.

Наблюдается существенное различие в температуре древесины ели обыкновенной разных категорий жизнеспособности (табл. 2) за летние месяцы. У шейки корня различия в температуре древесины минимальные, но, тем не менее, она более высокая у ослабленных деревьев. Вероятно, это связано с тем, что ослабленные деревья меньше поглощают воду и имеют ослабленный водный ток.

Таблица 2

**Температура ксилемы деревьев ели обыкновенной  
различных категорий жизнеспособности**

| Категория состояния<br>деревьев | Температура, °С |                 | Средняя температура<br>воздуха, °С |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
|                                 | у шейки корня   | на высоте 1,3 м |                                    |
| Здоровые                        | 23,2            | 24,6            | 24,0                               |
| Ослабленные                     | 23,3            | 26,1            | 24,9                               |
| Сильно ослабленные              | 23,5            | 27,4            | 25,2                               |



Таблица 3

**Температура ксилемы ели обыкновенной и таксационная характеристика  
деревьев разного класса возраста**

| Класс<br>возраста | Высота<br>ствола, м | Диаметр<br>ствола, см | Температура, °С  |                    | Температура<br>воздуха, °С |
|-------------------|---------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
|                   |                     |                       | у шейки<br>корня | на высоте<br>1,3 м |                            |
| IV                | 13,8                | 12,4                  | 25,2             | 28,3               | 27,3                       |
| V                 | 16,8                | 19,2                  | 22,3             | 25,1               | 23,5                       |
| VI                | 17,2                | 19,4                  | 22,2             | 24,9               | 23,2                       |

На высоте 1,3 м тенденция увеличения температуры древесины ствола по мере ослабления состояния дерева прослеживается наиболее четко, разница у здоровых и сильно ослабленных деревьев достигает 2,0...3,0 °С. Следовательно, температуру древесины можно использовать как индикатор для диагностики состояния деревьев. Это особенно важно, так как иногда видимых признаков ослабления состояния древостоя не наблюдается.

Согласно А.А. Маторкину, В.П. Карасеву и др. [2, 3], диагностика состояния растений по температурному режиму обладает высокой информативностью. Так, в 90...95 % случаев, при типах повреждений, связанных с нарушениями водного тока, температура стволов деревьев обусловлена их состоянием.

Было выявлено уменьшение температуры древесины у корневой шейки и на высоте груди с увеличением возраста (табл. 3). Наибольшая температура древесины наблюдается у деревьев IV класса возраста (приспевающие), наименьшая – у деревьев VI класса возраста (спелые). Однако изменение температуры ксилемы может быть связано как с возрастом деревьев, так и с температурой воздуха. Температура древесины по стволу в высоту для деревьев всех возрастов увеличивается на 2,5...3,0 °С. Движение пасоки оказывает существенное влияние на температурное поле ствола [5], и вертикальный температурный градиент ствола полностью определяется движением пасоки. Считается, что температура в области кроны ближе к температуре воздуха, а в области комля – к температуре почвы.

*Выводы*

1. Температура ствола ели обыкновенной с июня по август у корневой шейки ниже температуры ствола на высоте 1,3 м.
2. Температура ксилемы ствола изменяется с высотой. Разница температуры по стволу составляет 1,5 °С на каждый метр высоты для деревьев, относящихся к категории здоровых.
3. Наибольшие значения температуры древесины отмечены у сильно ослабленных деревьев, наименьшие – у здоровых деревьев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горышина Т.К. Экология растений. М.: Высш. шк., 1979. 368 с.
2. Карасев В.П., Карасева М.А. Эколого-физиологическая диагностика жизнеспособности деревьев хвойных пород // Лесн. журн. 2004. № 4. С. 27–32. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Маторкин А.А. Совершенствование методов отбора деревьев хвойных пород при формировании насаждений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Йошкар-Ола, 2009. 23 с.
4. Пузырев Е.М., Соломатов В.В. К построению математической модели температурного режима растений // Физиология растений. 1975. Вып. 5-6. С. 994–1000.
5. Электрические поля термического происхождения в природной древесине / Н.Ю. Евсикова, В.В. Постников, Н.Н. Матвеев, В.И. Лисицын // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения (INTERMATIC–2006): материалы междунар. науч.-техн. конф. М.: МИРЭА, 2006. Ч. 3. С. 87–89.

Поступила 05.04.12

*N.V. Ovsyannikova<sup>1</sup>, P.A. Feklistov<sup>1</sup>, N.V. Volkova<sup>1</sup>, V.I. Melekhov<sup>1</sup>, A.M. Tarakanov<sup>1</sup>, M.D. Merzlenko<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

<sup>2</sup>Institute of Forest Science, Russian Academy of Science

**The Temperature of Spruce Trunks**

The data on the possibility of using temperature of wood as the trunk of trees diagnostics. Just consider the influence of tree age on the temperature of wood.

*Key word:* temperature of wood, xylem, the neck of the root, the category of state, the age of the tree.

УДК 630\*187:582.475:[630\*56]

**А.Ф. Осипов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Осипов Андрей Федорович родился в 1985 г., окончил Коми государственный педагогический институт, аспирант Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет 7 печатных работ в области экологии леса, углеродного цикла в сосняках.  
E-mail: osipov@ib.komisc.ru



### **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ СОСНЯКОВ ЧЕРНИЧНО-СФАГНОВЫХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ\***

Определены запасы и нетто-продукция фитомассы чернично-сфагновых сосняков разного возраста в условиях средней тайги. Показано, что сосняки на болотно-подзолистых почвах характеризуются невысокой биологической продуктивностью. Оценен КПД использования фитоценозами фотосинтетически активной радиации и коэффициент продуктивности ассимиляционного аппарата сосны.

*Ключевые слова:* сосняк, биологическая продуктивность, средняя тайга.

Занимая обширные территории, бореальные леса играют важную роль в регулировании круговорота веществ в биосфере. Эта роль определяется возможностью накапливать и длительное время удерживать различные элементы в фитомассе насаждений лесных экосистем. Для моделирования круговорота веществ в биосфере, долговременной динамики развития лесных фитоценозов и верификации существующих моделей необходимы знания о фитомассе и продукции органической массы насаждений, находящихся на разных этапах формирования [16, 27]. Такие данные для сосновых сообществ представлены в ряде работ [2, 3, 11, 15, 19, 20, 30], но они выполнены в основном в сосняках, развитых на автоморфных почвах. Продуктивность заболоченных сосновых фитоценозов, находящихся на разных этапах развития, на Северо-Востоке России исследована недостаточно. Сосновые леса на территории Республики Коми занимают 7,1 млн га, половина которых произрастает на болотно-подзолистых почвах [13]. Перед нами стояла задача оценки биологической продуктивности сосняков чернично-сфагновых разного возраста в средней тайге.

Работа выполнена в Республике Коми, на территории Ляльского (62° 17' с. ш., 50° 40' в. д.) и Чернамского (62° 00' с. ш., 50° 20' в. д.) лесных стационаров Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Объектами исследования являлись сосняки чернично-сфагновые разного возраста, послепожарного

---

\*Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16 и гранта РФФИ №10-04-00067-а и под руководством доктора биологических наук, проф. К.С. Бобковой.

© Осипов А.Ф., 2013

Таблица 1

## Таксационная характеристика древостоев чернично-сфагновых сосняков

| № ПП                | Состав     | Средний возраст, лет | Густота деревьев, экз./га | Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> /га | Запас древесины, м <sup>3</sup> /га | Средняя высота, м | Средний диаметр, см |
|---------------------|------------|----------------------|---------------------------|--|-------------------------------------|-------------------|---------------------|
| 40                  | 9С1Б+Е     | 42±2                 | 2153/27                   | 15,0                                       | 95/1                                | 8,8               | 9,3                 |
| 4 (перечет 1981 г.) | 10С+Б ед.Е | 60±4                 | 2040/100                  | 15,7                                       | 109/4                               | 10,0              | 10,0                |
| 4 (перечет 2008 г.) | 10С ед.Е   | 80±2                 | 2266/327                  | 24,0                                       | 141/8                               | 11,0              | 12,0                |
| 26                  | 10С+Е,Б,Ос | 118±4                | 1210/30                   | 20,2                                       | 169/2                               | 12,9              | 16,3                |

Примечание. В числителе – растущие деревья, в знаменателе – сухие.

происхождения, IV и V классов бонитета. Характеристика древостоев приведена в табл. 1. В составе древесного яруса сосняков при господстве сосны отмечена незначительная примесь березы и ели, реже осины. В подлеске единично ива и рябина. Подрост (2,2...5,5 тыс. экз./га) состоит из сосны, березы и ели при преобладании сосны. Травяно-кустарничковый ярус довольно сходен по составу. Он, имея общее проективное покрытие 50...60 %, состоит из черники, голубики, брусники, багульника, водяники, кассандры, подбела, марьянника и осоки. Почти сплошной моховой покров представлен в основном сфагновыми при незначительном участии зеленых мхов. На кочках встречаются лишайники из рода *Cladonia* и *Cladina*. Почвы торфянисто-подзолисто-глееватые илювиально-железистые.

Согласно Л.Е. Родину с соавт. [24] и ОСТ 56-69-83 [23] заложены 3 (№ 4, 26, 40) пробные площади (ПП) размером 0,10 и 0,15 га, на которых проведен сплошной пересчет деревьев. В сосняке, на ПП 4, пересчеты проведены в динамике. Таксационная обработка материала выполнена в соответствии с методическими требованиями [7]. Запасы и прирост органической массы определены методом [28] на 11 модельных деревьях сосны разных ступеней толщины, прирост древесины ствола – как средний за 5 лет по приросту объема ствола модельных деревьев при помощи LINTAB 5 с использованием программы Tsar Win Basic, масса подземных органов – методом крупных и мелких монолитов [22]. Прирост ветвей рассчитан по средней ветви модельного дерева. Продукцию ассимиляционного аппарата вычисляли как среднюю за 4 года, фитомассу деревьев березы – по уравнениям, приведенным ранее [2]. Прирост коры принимали равным ее опад. Прирост корней деревьев определяли по следующей формуле [18]:

$$P_{кр} = \frac{n_c k}{c}, \quad (1)$$

где  $n_c$  – прирост стволов и ветвей (единицы массы);

$k$  – доля корней от суммарной массы ствола, ветвей и корней, %;

$c$  – доля ствола и ветвей от суммарной массы ствола, ветвей и корней, %.

Фитомассу растений напочвенного покрова определяли методом укосов на каждой ПП в 10-кратной повторности рамкой 50×50 см [18, 24]. Продукцию вычисляли, отделяя побеги первого года. По полученным соотношениям рассчитывали общий прирост. Данные переводили в абс. сухой вес.

Под коэффициентом полезного действия (КПД) падающей на древесной фотосинтетически активной радиации (ФАР) мы понимаем отношение количества энергии, запасенной в нетто-продукции к количеству поглощенной ФАР [26]:

$$\text{КПД} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i M_i}{\sum Q} 100, \quad (2)$$

где  $n$  – число фракций;

$i$  – фракция;

$q_i$  – калорийность  $i$ -й фракции;

$M_i$  – нетто-продукция;

$\sum Q$  – сумма ФАР за вегетационный период,  $\sum Q = (92,1 \dots 100,5) \cdot 10^8$  кДж/га [8].

Коэффициент продуктивности, или эффективности работы ассимиляционного аппарата растений, выражается отношением общего годового прироста (нетто-продукции) к площади поверхности листьев [28]. Данные по 60-летнему сосняку чернично-сфагновому приведены согласно К.С. Бобковой [3], статистическая обработка выполнена по [9, 12].

Для вычисления фитомассы отдельных фракций и прироста органической массы компонентов фитомассы древесных растений применяли регрессионные уравнения. Для оценки зависимости формирования органической массы отдельных фракций от диаметра ствола дерева была проанализирована пригодность ряда уравнений разного вида: линейного ( $y = ax - b$ ), логарифмического ( $y = a \ln(x) - b$ ), экспоненциального ( $y = ax^{be}$ ), полиномиального ( $y = ax^2 - b + c$ ), степенного ( $y = ax^b$ ). Приемлемость связи определяли по достоверности аппроксимации тренда  $R^2$ . Согласно А.И. Уткину [28], для достоверной оценки запасов и продукции органической массы по методу регрессии необходимо 5 и более модельных деревьев. Н.А. Бабич и др. [1] в результате проведенных исследований фитомассы культур сосны предложили метод отбора и выведения регрессионных уравнений на основе 15 модельных деревьев. Характеристика уравнений зависимости фракций фитомассы от диаметра приведена нами ранее [4]. Выявлено, что связь отдельных компонентов от диаметра описывается полиномиальными уравнениями с  $R^2 = 0,81 \dots 0,99$ . Для растущих деревьев радиальный и объемный текущий приросты древесины ствола в наибольшей степени зависят от диаметра дерева на высоте груди [5]. Связь прироста органической массы отдельных органов растений лучше всего описывается степенным уравнением вида  $y = ax^b$ , где  $x$  – диаметр дерева на высоте 1,3 м. Коэффициенты ( $a$ ,  $b$ ) и достоверности аппроксимации тренда ( $R^2$ ) приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Коэффициенты уравнений зависимости прироста фитомассы деревьев сосны от диаметра ствола в сосняке чернично-сфагновом**

| Компоненты фитомассы | <i>a</i> | <i>b</i> | R <sup>2</sup> |
|----------------------|----------|----------|----------------|
| Хвоя                 | 0,0010   | 2,4168   | 0,756          |
| Древесина ствола     | 0,0049   | 2,2412   | 0,707          |
| Ветви                | 0,0052   | 1,7887   | 0,440          |

*Запасы фитомассы.* Данные табл. 3 показывают значительную изменчивость запасов фитомассы в древостоях сосняков чернично-сфагновых по мере их развития. Так, в 45-летнем возрасте в растущих органах деревьев древостоя накапливается 72,5; в 60-летнем – 90,0; в 80-летнем – 111,9; в 118-летнем – 113,4 т/га органической массы. Известно [2], что в спелом сосняке чернично-

Таблица 3

**Запасы (т/га) и чистая первичная продукция (кг/(га·год)) фитомассы сосняков чернично-сфагновых**

| Компоненты фитомассы              | Возраст древостоя, лет |                    |                    |                    |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                   | 42                     | 60                 | 80                 | 118                |
| <b>Сосна:</b>                     |                        |                    |                    |                    |
| хвоя                              | 2,71/540               | 3,48/710           | 4,10/900           | 4,20/1010          |
| древесина стволовая               | 44,52/720              | 47,33/910          | 70,28/1170         | 67,29/1250         |
| кора стволовая                    | 4,35/120               | 5,55/60            | 6,31/110           | 5,94/140           |
| ветви                             | 3,93/620               | 3,34/360           | 6,01/920           | 6,53/850           |
| корни                             | 14,68/210              | 18,37/260          | 24,62/310          | 24,35/280          |
| <b>Ель:</b>                       |                        |                    |                    |                    |
| хвоя                              | 0,10/6                 | 0,04/6             | 0,08/4             | 0,40/30            |
| древесина стволовая               | 0,38/3                 | 0,08/5             | 0,26/2             | 1,62/10            |
| кора стволовая                    | 0,04/2                 | 0,01/2             | 0,03/2             | 0,17/6             |
| ветви                             | 0,08/2                 | 0,02/2             | 0,06/2             | 0,31/10            |
| корни                             | 0,20/3                 | 0,05/4             | 0,15/2             | 0,87/7             |
| <b>Береза:</b>                    |                        |                    |                    |                    |
| листья                            | 0,06/60                | 0,47/470           | –/–                | 0,07/70            |
| древесина стволовая               | 0,84/35                | 6,40/30            | –/–                | 1,02/16            |
| кора стволовая                    | 0,19/28                | 0,91/11            | –/–                | 0,19/13            |
| ветви                             | 0,12/14                | 0,99/20            | –/–                | 0,15/13            |
| корни                             | 0,30/16                | 2,95/22            | –/–                | 0,32/10            |
| <i>Итого по древостою</i>         | 72,50/2379             | 89,99/2872         | 111,90/3422        | 113,43/3715        |
| Кустарнички                       | 1,28/298               | 1,55/367           | 1,21/227           | 2,47/696           |
| Травы                             | 0,06/61                | 0,37/367           | 0,07/73            | 0,04/41            |
| Корни кустарничков и трав         | 3,32/831               | 6,61/1653          | 3,50/874           | 6,24/1560          |
| Мхи                               | 0,85/148               | 2,43/385           | 1,02/158           | 1,48/266           |
| <i>Итого напочвенного покрова</i> | 5,52/1338              | 10,98/2772         | 5,81/1332          | 10,36/2563         |
| <b>Всего по фитоценозу</b>        | <b>78,02/3717</b>      | <b>100,97/5644</b> | <b>117,71/4754</b> | <b>123,79/6278</b> |

Примечания. 1. В числителе – запасы, в знаменателе – нетто-продукция. 2. Формирование органической массы елью и березой определено по неопубликованным данным, предоставленным К.С. Бобковой.

сфагновом рассматриваемого региона фитомасса древостоя равна 97,3 т/га. Древостои довольно однородные по составу (см. табл. 1). Основную фитомассу формирует сосна, на долю которой приходится 86...99 %. Следует отметить относительно стабильные соотношения массы отдельных частей древостоя. Так, хвоя и листья составляют 4, ветви – 5...6, стволовая древесина 60...63, корни – 21...24 % от общей массы растущих деревьев. Сравнение данных о фитомассе рассматриваемых сосняков с имеющимися в литературе сведениями для древостоев приблизительно одного возраста близких типов леса в условиях подзоны средней тайги позволяет оценить продуктивность сосняков, произрастающих в Республике Коми. Так, в условиях средней тайги Карелии средневозрастные заболоченные сосняки V класса бонитета формируют 76...83 т/га органической массы [20], спелые – 109...138 т/га [17], что вполне сопоставимо с данными, приведенными в табл. 3. Следует отметить, что древостои сосняков зеленомошной группы типов на автоморфных почвах в условиях средней тайги образуют древостои III–IV класса бонитета и накапливают органической массы в 1,3–2,0 раза больше, чем сосняки на полугидроморфных почвах [3, 19, 30, 31].

В сосняках чернично-сфагновых средней тайги фитомасса растений напочвенного покрова варьирует от 5,0 до 11,0 т/га (табл. 3). Наименьшее ее количество отмечено в 45-летнем сосняке (5,5 т/га), наибольшее – в 60-летнем древостое (10,9 т/га). В надземной массе растений данного яруса сфагновые мхи составляют 14...46, черника – 17...42 %. Следует отметить, что в 45- и 118-летних древостоях значительны запасы голубики (соответственно 13 и 22 % от общей массы) и зеленых мхов (19 и 21 %). Доля остальных растений менее 10 %.

Полученные нами данные вполне согласуются с имеющимися в литературе. Так, в сосняках черничных Республики Коми травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы составляют 3,0...8,0 т/га [3]. Растения напочвенного покрова сосняков Карелии в зависимости от типа леса накапливает 3...12 т/га органической массы [20]. По данным В.М. Медведевой [17], в заболоченных сосняках данного региона продуктивность растений нижних ярусов колеблется в пределах 5,0...10,0 т/га. Ранее отмечено [14], что запасы общей фитомассы растений травяно-кустарничкового яруса и мохового покрова имеют заметную связь с плотностью насаждений и не зависят от условий местопроизрастания. Согласно нашим данным, более сомкнутые 45- и 80-летние сосняки чернично-сфагновые имеют меньшую фитомассу растений напочвенного покрова.

*Прирост органической массы.* Важнейшей характеристикой функционирования лесных экосистем является интенсивность продуцирования органического вещества фитоценозов. Общий прирост фитомассы исследуемых сосновых лесов составляет 3,5...6,3 т/га (табл. 3) и согласуется с данными, приведенными для других регионов. Так, согласно Н.И. Казимирову и др. [20], в сосняках Карелии прирост органической массы фитоценоза составляет 4,3...9,6 т/га, в условиях северной тайги Республики Коми – 5,2...7,1 т/га [3]. В сосняках лишайниковых Сибири ежегодно накапливается 1,5...2,4 т/га органической массы [14]. Согласно С.М. Синькевичу и др. [25], в среднетаежных сосняках Карелии прирост фитомассы варьирует в пределах 4,5...8,6 т/га.

При оценке биологической продуктивности наибольший интерес представляет формирование органической массы древостоями, на долю которых приходится 51...71 % общего прироста фитомассы (табл. 3). В сосняках разного возраста годовичная продукция древесного яруса составляет 2,2...3,7 т/га, и ее формирует в основном сосна. В накоплении органического вещества значительно участие хвои (0,5...1,0 т/га) и древесины стволов (0,5...1,2 т/га), существенен и вклад ветвей (0,3...0,9 т/га). Прирост корней – 0,2...0,3, коры ствола – 0,06...0,12 т/га.

Ранее было отмечено, что с увеличением влажности почвы фитоценоза увеличивается доля продукции растений напочвенного покрова [3, 20]. Так, в сосняках чернично-сфагновых доля растений напочвенного покрова составляет 29...41 % от общего прироста фитомассы ценоза. Основную часть продукции (33...69 %) формируют кустарнички. На мхи приходится 27...34, на травы – 4...33 %.

Эффективность использования ФАР насаждением в продукционном процессе относительно низка (0,67...1,23 %), значительная часть ее приходится на древостой (табл. 4). Коэффициент продуктивности ассимиляционного аппарата невысокий и варьирует в пределах 55...62 г/м<sup>2</sup>, что почти в 2 раза ниже, чем в сосняках на автоморфных почвах [29].

Таблица 4

**КПД использования ФАР фитоценозами сосняков чернично-сфагновых и коэффициент продуктивности ассимиляционного аппарата сосны**

| № ПП<br>(возраст, лет) | КПД использования ФАР, % |                         |       | Коэффициент<br>продуктивности, г/м <sup>2</sup> |
|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------|---|
|                        | Древостой                | Напочвен-<br>ный покров | Итого |   |
| 40 (42)                | 0,41                     | 0,26                    | 0,67  | 60  |
| 4 (60)                 | 0,57                     | 0,54                    | 1,11  | 55  |
| 4 (80)                 | 0,66                     | 0,26                    | 0,92  | 61  |
| 26 (118)               | 0,73                     | 0,50                    | 1,23  | 62  |

Невысокая продуктивность древостоев в среднетаежных сосняках чернично-сфагновых на болотно-подзолистых почвах определяется прежде всего гидротермическими условиями корнеобитаемого слоя. Почвы сезонно-промерзающие, относительно холодные. Период активного роста корней на глубине 20 см, когда температура выше 8 °С и верхний 20-сантиметровый слой почвы не затоплен, в сосняке чернично-сфагновом средней тайги изменяется от 0 до 60 дн., тогда как в сосняках на автоморфных почвах – от 60 до 85 дн. [29]. Водный режим этих почв в регионе исследований застойно-промывной [10]. В торфянисто-подзолисто-глееватых почвах сосняков в течение вегетации наблюдается переувлажнение верхних горизонтов почвы и периодическое их затопление, особенно, в весенне-летний периоды. В этих условиях содержание кислорода в почвенной воде снижается до 0,2...1,2 мг/л [3].



При таком содержании кислорода отмечается прекращение роста корней [21] и нарушение обменных процессов в растениях [6]. Неблагоприятные экологические факторы способствуют развитию поверхностной корневой системы. В сосновых сообществах на болотно-подзолистых почвах почти вся масса корней формируется в верхнем 40-сантиметровом слое. Физиологически активная часть корней (73%) сосредоточена в органогенном горизонте [3].

#### Выводы

В сосняках чернично-сфагновых, развитых на торфянисто-подзолисто-глееватых иллювиально-железистых почвах, формируются фитоценозы низкой продуктивности. Запасы органической массы в процессе развития насаждений изменяются от 78 до 124 т/га, а нетто-продукция от 3,5 до 6,3 т/га в год. КПД использования ФАР в заболоченных сосняках варьирует в пределах 0,67...1,23 %. Невысокая продуктивность ценозов заболоченных сосняков определяется неблагоприятным гидротермическим режимом почв.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А., Клевцов Д.Н., Евдокимов И.В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны. Архангельск: Изд-во САФУ, 2010. 140 с.
2. Бабич Н.А., Травникова Г.И., Гаевский Н.П. Структура и запасы надземной фитомассы сосняка черничного искусственного происхождения // Лесн. журн. 1999. № 2-3. С 29–35. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
4. Бобкова К.С., Осипов А.Ф., Галенко Э.П. Пул углерода фитомассы древостоев сосняков чернично-сфагновых средней тайги европейского Северо-Востока // Хвойные бореальной зоны. 2011.
5. Вайс А.А. Связь текущего прироста деревьев с морфологическими и социальными показателями на примере древостоев Восточной Сибири // Науч. журн. КубГАУ. 2009. № 47 (3). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/03/pdf/05.pdf>
6. Веретенников А.В. Отмирание и регенерация корневой системы *Pinus sylvestris* L. в зависимости от условий снабжения корнеобитаемого слоя почвы кислородом воздуха // Ботан. журн. 1959. Т. 44, № 2. С. 202–209.
7. Войнов Г.С. Лесотаксационный справочник для Северо-Востока европейской части СССР. Архангельск, 1986. 358 с.
8. Галенко Э.П. Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1983. 129 с.
9. Гусев И.И. Моделирование экосистем: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 112 с.
10. Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.
11. Зябченко С.С. Сосновые леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1984. 244 с.
12. Лакин Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов. 4 изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.

13. Леса Республики Коми/Под ред. Г.М. Козубова., А.И. Таскаева. М., 1999. 332 с.
14. Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Под ред. Ф.И. Плешикова. Новосибирск, 2002. 356 с.
15. *Лукина Н.В., Никонов В.В.* Биогехимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. В 2-х ч. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с.; Ч. 2. 192 с.
16. *Мамихин С.В.* Динамика углерода органического вещества и радионуклидов в наземных экосистемах (имитационное моделирование и применение информационных технологий). М.: Изд-во МГУ, 2003. 172 с.
17. *Медведева В.М.* Фитомасса сосновых заболоченных лесов различного возраста в подзоне средней тайги Карелии // Пути изучения и освоения болот Северо-Запада европейской части СССР. Л.: Наука, 1974. С. 99–106.
18. Методы изучения лесных сообществ / Е.Н. Андреева [и др]. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с
19. *Молчанов А.А.* Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М., 1971. 275 с.
20. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н.И. Казимиров [и др]. Л.: Наука, 1977. 304 с.
21. *Орлов А.Я.* Влияние недостатка кислорода в воде на рост корней сосны, ели и березы // Физиология древесных растений. М., 1962. С. 278–280.
22. *Орлов А.Я.* Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение. 1967. № 1. С. 64–69.
23. ОСТ 56-69–83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 60 с.
24. *Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И.* Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота. Л.: Наука, 1967. 145 с.
25. *Синькевич С.М., Бахмет О.Н., Иванчиков А.А.* Роль почв в региональном балансе углерода в сосновых лесах Карелии // Почвоведение. 2009. № 3. С. 290–300.
26. *Тооминг Х.Г.* Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Наука, 1977. 200 с.
27. *Усольцев В.А.* Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 762 с.
28. *Уткин А.И.* Биологическая продуктивность лесов // Итоги науки и техники. Сер. «Лесоведение и лесоводство». М., 1975. Т. 1. С. 9–190.
29. Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Северо-Востока / Под ред. К.С. Бобковой. Сыктывкар, 1993. 176 с.
30. Carbon balance of different aged Scots pine forests in Southern Finland / P. Kolarí [et al.] // Global Change Biology. 2004. Vol. 10. P. 1106–1119.
31. Effects of age and site quality on distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) / P. Vanninen, H. Ylitalo, R. Sievänen, A. Mäkelä // Trees. 1996. Vol. 10. P. 231–238.

Поступила 17.05.10

*A.F. Osipov*

RAS, Ural Branch, Komi Research Center, Institute of Biology

**Biological Productivity of Whortleberry-Sphagnum Pine Forests in Medium Boreal Taiga**

Growing stock value and net-production of the whortleberry-sphagnum pine (*Pinus sylvestris*) stands phytomass in medium boreal coniferous forests have been determined. Low biological productivity of the pine stands at swampy podzolic soils is shown. Performance factor of physiologically active radiation utilization by phytocenosis and productivity coefficient of assimilative apparatus of pine have been evaluated.

*Key words:* pine forest, biological productivity, medium boreal coniferous forest.

---



УДК 625.711.84:69

**О.Н. Оруджова**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Оруджова Ольга Низамиевна окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики и сопротивления материалов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 20 печатных работ в области дорожного строительства с использованием геосинтетических материалов.  
E-mail: olga.orudzhova@narfu.ru



### **ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ СЕТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Отражены некоторые организационно-экономические проблемы строительства лесовозных дорог в Архангельской области.

*Ключевые слова:* лесопромышленный комплекс, экономика, лесная транспортная сеть, вывозка древесины.

Цель нашей работы – привлечение внимания к экономическим проблемам устойчивого освоения и воспроизводства лесных ресурсов в Архангельской области за счет создания эффективной транспортной инфраструктуры.

Лесопромышленный комплекс является важнейшей отраслью экономики области. В объеме выпуска валовой продукции на его долю приходится около 11, в доходах консолидированного бюджета – около 19 % [1].

Однако вклад лесного комплекса в экономику области не соответствует имеющемуся ресурсному потенциалу. Анализ экономических параметров использования лесных ресурсов и состояния лесопромышленного комплекса показал, что с 2007 г. по 2008 г. отмечался рост производства продукции целлюлозно-бумажной промышленности, объемов платежей за использование лесов, поступивших в бюджетную систему РФ. При этом большинство показателей, характеризующих состояние заготовки и переработки древесины, ухудшилось. В 2008 г. по сравнению с 2007 г. объем заготовки древесины сократился на 23,7, объем вывозки – на 22,5, объем валовой продукции – на 1,0 %, объем прибыли – в 2,4 раза. В 2008 г. объем расчетной лесосеки, представленной на 92 % продуктивными насаждениями, составил 22 млн м<sup>3</sup> [1].

Сокращение объемов лесопользования приводит к снижению лесного дохода и недостаточному развитию лесоперерабатывающих производств, а значит, и к снижению экономической эффективности всего лесного комплекса. Для повышения доступности лесных ресурсов и сохранения конкурентоспособности предприятий необходимо создавать развитую сеть лесовозных автомобильных дорог высокого качества.

Неудовлетворительное состояние дорог, недостаточная их протяженность и развитость, увеличение изнашивающего воздействия на дорожную одежду постоянно растущего потока грузового транспорта, дефицит средств, направляемых на строительство и эксплуатацию лесовозных автомобильных дорог, сдерживают рост объемов лесозаготовок и не позволяют эффективно вести лесное хозяйство. По области протяженность всех лесовозных дорог, включая усы железных дорог, составляет 1 км на 1000 га, т. е. 10 % от норматива. Из них 88 % приходится на автомобильные дороги, из которых только 14 % – дороги с твердым покрытием.

Общая площадь земель лесного фонда Архангельской области составляет 28,8 млн га, из них особо охраняемых природных территорий 0,5 млн га. По целевому назначению они разделены на защитные (5 148,2 тыс. га, или 22,6 %) и эксплуатационные (17 611,4 тыс. га, или 77,4 %) леса. Общий запас древесины в лесах 2,5 млрд м<sup>3</sup>, из них 65 % – в спелых и перестойных насаждениях. Средний запас насаждений на 1 га составляет 155 м<sup>3</sup>, преобладающей породой является ель.

По лесорастительному зонированию лесной фонд Архангельской области расположен в трех лесных районах: район притундровых лесов и редкостойной тайги – 6 080,5 тыс. га; северо-таежный район – 12 318,0 тыс. га; среднетаежный район – 10 258,0 тыс. га.

По породной, лесотипологической и возрастной структуре леса Архангельской области в целом остаются благоприятными для промышленного освоения.

В течение последних 100 лет Архангельская область специализировалась на заготовке и переработке древесины. В этот период ежегодные объемы заготовки варьировали от 10 до 15 млн м<sup>3</sup>, а в 70–80-е гг. составляли до 25 млн м<sup>3</sup>. Практически вся заготовленная древесина перерабатывалась на архангельских лесопильных и целлюлозно-бумажных предприятиях, которые занимали ведущее положение в стране. Параллельно развивались сопутствующие лесоперерабатывающие производства: деревянное домостроение, мебельное, фанерное, плитное, деревоклеенное, гидролизное, лесохимическое. Также развивалась инфраструктура лесопромышленного комплекса: научные, образовательные, проектные, машиностроительные, транспортные, строительные организации и предприятия.

Лесной сектор являлся основой экономики Архангельской области, поддерживал социальную и транспортную инфраструктуру районов, обеспечивал более 100 тыс. рабочих мест. Однако за годы перестройки динамику развития лесного сектора не удалось сохранить, и многие перспективные начинания бы-

ли утрачены. Объемы заготовки и переработки древесины в 90-е гг. снизились до 8...10 млн м<sup>3</sup>, приостановились работы по строительству лесовозных дорог и модернизации производственных мощностей. Многие лесозаготовительные и деревообрабатывающие предприятия обанкротились.

В настоящее время размещение эксплуатационных запасов лесного фонда в Архангельской области относительно транспортных путей крайне неблагоприятно. Наиболее богатые древесиной массивы леса расположены на территориях, вообще лишенных дорог.

Недостаток финансовых ресурсов у большинства лесозаготовительных предприятий, массовое банкротство крупных лесозаготовительных предприятий (в 90-е гг.), появление многочисленных мелких лесозаготовителей, не способных вести дорожное строительство, отрицательно сказались на развитии лесной транспортной сети. В 2008 г. в Архангельской области действовало 157 лесозаготовительных (из них 71 % убыточных), 127 лесоперерабатывающих (63 % убыточных) и 5 целлюлозно-бумажных (33 % убыточных) предприятий [1].

Одной из основных причин, оказывающих негативное влияние на развитие транспортной сети, является отсутствие нормативно-правовых актов для формирования механизмов финансирования строительства сети лесных дорог и централизованных инвестиций на строительство дорог в государственном лесном фонде. Источниками финансирования строительства лесовозных дорог в настоящее время в основном являются собственные средства предприятий, относимые на себестоимость продукции.

Таким образом, лесные территории Архангельской области крайне недостаточно обустроены сетью дорог многоцелевого назначения, которая могла бы обеспечивать эффективное ведение лесного хозяйства, рациональное лесопользование и удовлетворение социальных потребностей местного населения. Сложившаяся ситуация со строительством лесных дорог не способствует дальнейшему развитию лесопромышленного комплекса (см. таблицу).

**Динамика развития дорожной сети на землях лесного фонда  
Архангельской области**

| Год  | Дороги                         | Протяженность дорог, км |               | Протяженность всех видов дорог на 1000 га общей площади, км |
|------|--------------------------------|-------------------------|---------------|---|
|      |                                | Железные                | Автомобильные |   |
| 1988 | Лесохозяйственные и лесовозные | 2 616                   | 19 846        | –   |
|      | Общего пользования             | 1 853                   | 6 195         | –   |
|      | <i>Итого</i>                   | 4 469                   | 26 041        | 1,07  |
| 2003 | Лесохозяйственные и лесовозные | 2 269                   | 29 600        |   |
|      | Общего пользования             | 1 096                   | 6 382         |   |
|      | <i>Итого</i>                   | 3 365                   | 35 982        | 1,38  |
| 2010 | Лесохозяйственные и лесовозные | 1 759                   | 30 997        |   |
|      | Общего пользования             | 1 591                   | 8 430         |   |
|      | <i>Итого</i>                   | 3 350                   | 39 427        | 1,50  |

Для поддержания существующего уровня лесопользования требуется ежегодно строить по 300 км лесовозных дорог (25 % – технологические, 75 % – временные ветки), а для наращивания объемов лесопользования – 16 км на каждый дополнительный 1,0 млн м<sup>3</sup> заготовки.

В стратегии развития лесопромышленного комплекса России на период до 2015 г. лесное дорожное строительство занимает одно из ведущих мест. Чтобы решить эту проблему, предлагается для экономии материальных и финансовых ресурсов создать в лесах области единую транспортную сеть постоянных дорог многоцелевого назначения. Эксплуатационные характеристики этих дорог должны соответствовать техническим требованиям, предъявляемым к лесовозным дорогам [2–4]. Проблема финансирования лесных дорог может решаться как за счет централизованных источников (федеральный и областной бюджеты), так и за счет собственных средств лесозаготовительных предприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесной план Архангельской области на 2009–2018 гг. Правительство Архангельской области. 2010. Режим доступа: <http://www.dvinaland.ru/power/departments/deples/acts.html>
2. Морозов В.С. Дорогам служить дольше // Лесн. регион. 2009. № 1. С. 8.
3. Морозов В.С. Дорогам служить дольше // Лесн. регион. 2009. № 2. С. 10.
4. Оруджова О.Н. Особенности гидравлических характеристик геотекстильных материалов, применяемых в конструкциях лесовозных дорог // Лесн. журн. 2010. № 3. С. 72–76. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 23.05.11

*O.N. Orudzhova*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Dynamics of Logging Road Network Development**

The article reflects some organizational and economic problems of logging roads construction in the Arkhangelsk region.

*Key words:* timber industry, economy, forest transportation system, wood removal.

---

УДК 62-762.445:630\*37

**Е.А. Памфилов, П.Г. Пыриков, Г.А. Пилюшина, С.В. Тяпин**

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Памфилов Евгений Анатольевич родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Брянский институт транспортного машиностроения, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оборудования лесного комплекса и технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 350 печатных работ в области обеспечения долговечности машин и оборудования.

E-mail: pamfilov@bgita.ru



Пыриков Павел Геннадьевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Брянский технологический институт, доктор технических наук, профессор кафедры оборудования лесного комплекса и технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 100 печатных работ в области управления функциональными характеристиками конструкционных и инструментальных материалов, применяемых в лесном и деревообрабатывающем машиностроении.

E-mail: pyrikovpg@mail.ru



Пилюшина Галина Анатольевна окончила в 2000 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии конструкционных материалов и ремонта машин Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 30 печатных работ в области повышения работоспособности узлов и механизмов машин и оборудования лесного комплекса.

E-mail: gal-pi2009@yandex.ru



Тяпин Сергей Витальевич родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, аспирант. Имеет 6 печатных работ в области обеспечения работоспособности разъемных соединений гидравлических систем лесозаготовительных машин.

E-mail: mr.Sergei22@km.ru



## **ПОВЫШЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГИДРОСИСТЕМ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА**

Рассмотрены возможности повышения работоспособности гидросистем, в частности широко используемых в них неподвижных разъемных соединений. Выявлены факторы, влияющие на уровень герметичности исследуемых соединений, и обоснованы конструктивно-технологические методы ее повышения. Предложены пути повышения работоспособности неподвижных разъемных соединений гидравлических машин, используемых на предприятиях лесного комплекса.

*Ключевые слова:* адгезионно-механические связи, аморфизирующая обработка, герметичность, гидросистема, дегерметизирующие каналы, надежность, оборудование лесного комплекса, работоспособность, сервовитные пленки, текстурирование поверхностных микрообъемов, фреттинг-коррозия.

© Памфилов Е.А., Пыриков П.Г., Пилюшина Г.А., Тяпин С.В., 2013



Работоспособность лесозаготовительного и деревоперерабатывающего оборудования в значительной степени зависит от надежной работы гидросистем, которые обеспечивают функционирование исполнительных органов технологических машин и выполнение ими основных работ: валку, обрезку сучьев, погружно-разгрузочные операции, раскряжевку, пакетирование древесины и др.

Надежность гидросистем, в том числе, по показателям герметичности далеко не всегда соответствует современным производственно-технологическим требованиям. При этом наиболее часто нарушение герметичности связано с утечкой рабочей жидкости через неподвижные соединения, выполняющие роль технологических разъемов. Герметичность таких соединений, эксплуатируемых при рабочих давлениях до 20...25 МПа и выше, достигается преимущественно за счет плотного прилегания конической или сферической поверхности ниппеля к конической рабочей поверхности штуцера, в результате чего образуется непроницаемая для рабочих жидкостей полоса контакта.

Герметичность в рассматриваемых соединениях определяется прочностью адгезионно-механических связей в контактной зоне, физико-химическими свойствами материалов, конструктивно-технологическими параметрами, включающими условия обработки деталей и их сборки, закономерностями формирования промежуточных слоев, геометрическими параметрами герметизирующих поверхностей. Кроме перечисленных выше параметров, обеспечивающих герметичность неподвижных соединений, важными являются и факторы внешнего силового, скоростного и температурного режимов эксплуатации, а также коэффициент трения, реализующийся на площадках фрикционного контакта сопрягаемых поверхностей.

В рассматриваемых соединениях реализуются трибосопряжения, для которых характерны высокие удельные нагрузки, малые скорости и амплитуды перемещения. Такой характер взаимодействия рабочих поверхностей герметизирующих соединений способствует проявлению на них фреттинг-износа, в результате чего частицы износа, не имеющие возможности выйти из зоны контакта, производят разрушающее действие на материал сопрягаемых деталей.

С учетом описанного механизма изнашивания деталей герметизирующих соединений нами было признано целесообразным разработать схемы формирования промежуточных слоев между сопрягаемыми поверхностями для длительного сохранения регламентируемой герметичности. Эти слои обеспечивают возможность позитивной трансформации параметров макрогеометрии и волнистости функциональных поверхностей. Кроме того, в контактной зоне происходит аморфизация внесенного в нее материала, что обеспечивает замену внешнего трения на поверхностях деталей на внутреннее в создаваемых промежуточных слоях.

Материал промежуточных слоев заполняет дегерметизирующие каналы, возникновение которых обусловлено наличием геометрических погрешностей соединяемых поверхностей. Для определения объемов этих каналов были рассмотрены схемы контактирования цилиндрических, конических или сферических поверхностей, имеющих различные геометрические погрешности (рис. 1).

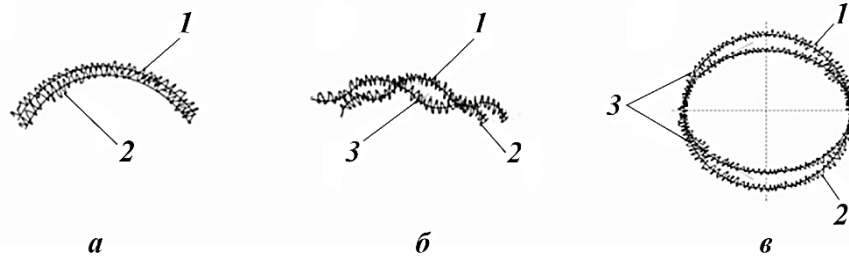


Рис. 1. Схемы контактирования в неподвижных соединениях при наличии шероховатости (а), шероховатости и волнистости (б), шероховатости и овальности (в): 1 – охватывающая поверхность (штуцер); 2 – охватываемая поверхность (ниппель); 3 – поры, формирующиеся в неподвижном контакте

При сборке соединений происходит контактная деформация взаимодействующих поверхностей и наблюдается изменение их физико-механических и геометрических характеристик. При этом наибольшие изменения происходят на более мягкой из сопрягаемых поверхностей. Ее шероховатость постепенно приближается к шероховатости твердого контртела до тех пор, пока не достигнет некоторого значения, характерного для данного режима контактного взаимодействия.

При обосновании параметров промежуточного слоя полагалось, что он должен иметь надежное граничное сцепление с охватывающей и охватываемой поверхностями, а в самом слое должны быть созданы условия для реализации в нем внутреннего трения (рис. 2).

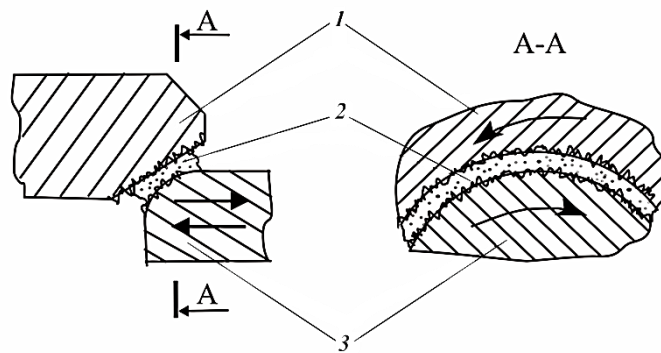


Рис. 2. Схема контактной зоны условно неподвижно соединяемых деталей, разделенных аморфным промежуточным слоем, при приложении сдвигающей нагрузки: 1 – охватывающая деталь, 2 – промежуточный слой, 3 – охватываемая деталь (стрелками указаны векторы возможных осевых и крутильных колебаний деталей герметизирующего узла)

Таким образом, для повышения работоспособности герметизирующего соединения необходимо, чтобы процессы контактного взаимодействия и микроперемещения при работе соединения преимущественно локализовались в зоне промежуточной протекторной пленки, не затрагивая ее граничных областей 1-2 и 2-3. Такой подход исключает разрушение материала деталей в результате проявления фреттинг-коррозии и обеспечивает герметичность соединения путем устранения микроутечек за счет перераспределения материала покрытия в контактной зоне. Для достижения этого должны быть соблюдены следующие условия:

$$f_{\text{вн}} < f_{\text{сц}(1-2)}; \quad f_{\text{вн}} < f_{\text{сц}(2-3)},$$

где  $f_{\text{вн}}$  – коэффициент внутреннего трения в промежуточном слое;

$f_{\text{сц}(1-2)}$  – коэффициент сцепления в зоне охватывающая деталь–покрытие;

$f_{\text{сц}(2-3)}$  – коэффициент сцепления в зоне покрытие–охватываемая деталь.

Для формирования промежуточных слоев можно использовать химические или электрохимические методы осаждения покрытий, напыление или натирание металлов, нанесение металлополимерных паст. Следует отметить целесообразность использования так называемых сервоитных пленок. Такие пленки имеют особую структуру, которая образуется и существует в процессе трения, сопровождающегося сложными физическими и химическими явлениями [1]. При функциональном взаимодействии частицы материала могут переходить с одной поверхности трения на другую и схватываться друг с другом без образования повреждений и увеличения сил трения [4]. Сервоитные пленки обладают способностью устранять возможные места протекания рабочей жидкости (поры, капиллярные и др. пустоты).

При наличии значительных дегерметизирующих пустот необходимо создание пленок толщиной от 4...5 до 20...30 мкм. Минимальная толщина обусловлена регламентируемой шероховатостью герметизирующих поверхностей (Ra 3,2 мкм), максимальная – амплитудой возможных крутильных колебаний и уровнем прилагаемых нагрузок.

Кроме того, должен быть осуществлен целесообразный выбор герметизирующего материала. Наиболее перспективными в этом плане являются медь и ее сплавы, так как они достаточно просто наносятся многими технологическими способами и легко аморфизируются.

Объем наполняемого материала определяется размером пустот, образующихся в герметизируемой зоне при контактировании функциональных поверхностей.

В принятых условиях контактирования объем межконтактного пространства можно рассчитать по формуле [2]

$$V = R_p A_c \left[ 1 - \left( \frac{P_c}{\alpha P_r t_m} \right)^{1/\nu} \right], \quad (1)$$

где  $R_p$  – расстояние от линии выступов шероховатости до средней ее линии;  
 $A_c$  – контурная площадь;  
 $p_c$  – контурное давление;  
 $\alpha$  – коэффициент ( $\alpha = 1/2$  – при упругом контакте,  $\alpha = 1$  – при пластичном);  
 $p_f$  – фактическое давление;  
 $t_m$  и  $v$  – параметры опорной кривой по ГОСТ 2789–73.

Объем зазора при контактировании цилиндрических или конических поверхностей, имеющих поперечное сечение в виде окружности и овала, определяется следующей зависимостью:

$$V_3 = \left( \pi \frac{|d_1^2 - d_2^2|}{4} \right) ma, \quad (2)$$

где  $d_1$  – диаметр охватываемой или охватывающей детали соединения, не имеющей погрешностей;  
 $d_2$  – размер наибольшей оси овальной формы контактирующей детали;  
 $m$  – пористость;  
 $a$  – ширина контакта соединения.

Ширину контакта соединения с определенным приближением можно определить из контактной задачи Герца о внедрении жесткой сферы в пластическое полупространство [2]:

$$a = \sqrt{R^2 - (R-h)^2} \approx \sqrt{2Rh}, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус скругления рабочей зоны охватываемой детали (ниппеля);  
 $h$  – сближение поверхностей под нагрузкой.

С учетом полученного выражения формула (2) примет следующий вид:

$$V_3 = \left( \pi \frac{|d_1^2 - d_2^2|}{4} \right) m \sqrt{2Rh}. \quad (4)$$

Материал промежуточного слоя должен также иметь возможность перераспределяться в пределах образовавшегося зазора, обладать достаточной структурной приспособляемостью, позволяющей противодействовать возникновению фреттинг-коррозии. Кроме того, такие промежуточные слои должны обладать определенными демпфирующими свойствами, позволяющими минимизировать действие динамических нагрузок.

Из возможных способов нанесения покрытий, обеспечивающих формирование функционального слоя, наиболее простым является химическое и электрохимическое осаждение меди.

При использовании химического осаждения могут быть получены слои толщиной от 2 до 5 мкм и более. Химическое осаждение является достаточно технологичным процессом, материалы для его выполнения доступны и недороги. При его проведении обеспечивается необходимая равномерность

осаждения материала покрытия по всей функциональной поверхности, а само покрытие имеет мелкокристаллическое строение и обладает низкими пористостью и дефектностью получаемой структуры.

Перспективно и фрикционное латунирование, которое существенно повышает антифрикционные свойства создаваемых функциональных поверхностей, а также использование распыления (пульверизации) наносимого материала электродуговым или газопламенным способами [4].

С учетом изложенного выше нами предложена технологическая схема формирования промежуточного функционального слоя, который создается за счет химического осаждения на одну из контактирующих поверхностей слоя толщиной 2...4 мкм, а на другую – путем газотермического покрытия толщиной 8...10 мкм. Затем детали соединения подвергаются оптимизирующей приработке с введением в зону контакта технологической среды, состоящей из 90 % глицерина и 10 % уксусной ледяной кислоты [3]. В результате происходит аморфизация промежуточного протекторного слоя с регламентированным формированием благоприятного уровня шероховатости в продольном и поперечном направлениях.

Механизм функционирования такого покрытия сводится к следующему. Как газотермические, так и химические покрытия, наносимые на контактирующие поверхности, достаточно надежно закрепляются на них за счет действия адгезионных связей. В результате при приложении смещающей нагрузки срыва покрытия с материала подложки не происходит, а все относительные (как микро-, так и макроперемещения) реализуются во внутренних промежуточных слоях.

Поскольку наносимый газотермическим способом промежуточный слой при аморфизирующей приработке становится мягким и пластичным, то появляется возможность его дополнительной обработки методами поверхностного пластического воздействия для получения благоприятного уровня регулярной микрогеометрии. Для этого целесообразно использовать инструменты-инденторы, позволяющие создавать определенную повторяемость благоприятных микрорельефов.

Для создания герметизирующих соединений использовались как вновь изготовленные образцы, так и серийные изношенные соединения, восстановленные по приведенной выше схеме обработки, включающей газотермическое и химическое нанесение покрытий и последующую технологическую приработку.

Сравнительные испытания соединений показали, что как вновь изготовленные образцы, так и восстановленные с использованием предлагаемой нами технологической схемы по показателям герметичности и износостойкости более чем в четыре раза превышают серийные образцы неподвижных разъемных соединений.

Таким образом, предлагаемые в работе схемы формирования промежуточных защитно-герметизирующих слоев (как при изготовлении новых конструкций неподвижных разъемных соединений, так и при восстановлении

работоспособности изношенных) обеспечивают исключение фреттинг-изнашивания в течение заданного срока эксплуатации, а также более длительное сохранение регламентируемой герметичности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.
2. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учеб. для техн. вузов. 2-е изд., перераб. и доп./ А.В.Чичинадзе [и др.]. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
3. *Памфилов Е.А., Пилушина Г.А., Тяпин С.В.* Обеспечение герметичности разъемных соединений гидравлических систем технологических машин // Изв. Самарского НЦ РАН. 2011. Т. 13, № 4(3). С. 1170–1172.
4. *Потеха В.Л.* Трибодилатометрия. Гомель, 2000. 374 с.

Поступила 28.06.11

*Е.А. Pamfilov, P.G. Pyrikov, G.A. Pilyushina, S.V. Tyapin*  
Bryansk State Engineering and Technological Academy

#### **Increased Tightness of Stable Demountable Connections in Machines and Forestry Equipment Hydrosystems**

The article considers possible ways of increasing hydrosystems' working capacity, in particular, stable demountable connections widely used in them. Factors affecting tightness level of the connections under consideration are revealed; constructive and technological methods to increase this level are substantiated. Ways of increasing working capacity of stable demountable connections of hydraulic machines used at forestry factories are offered.

*Key words:* adhesive-mechanical connections, amorphization treatment, tightness, hydrosystem, untightening channels, reliability, forestry equipment, working capacity, protective tribofilms, texturing of surface microvolumes, fretting corrosion.

УДК 634.0.38

С. П. Дорохов

ОАО НПП «Старт»

### РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ЭЙЛЕРА В ОДНОЙ ЗАДАЧЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ДВУХЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА ЛЕСНОЙ МАШИНЫ

Приведены два метода решения уравнения Эйлера: первый метод заключается в использовании степенных рядов и применим к решению широкого класса дифференциальных уравнений произвольного порядка, во втором применяется современный пакет прикладных программ Maple9.

*Ключевые слова:* уравнение Эйлера, манипулятор, быстродействие, метод, решение.

Ранее нами [1] была рассмотрена задача поиска оптимальной по быстродействию траектории переноса груза манипулятором.

Рассматривался функционал

$$T = \int_0^l \frac{ds}{v_c}$$

Здесь  $T$  – время перемещения центра груза – лесоматериала;  $l$  – длина кривой;  $ds$  – бесконечно малое приращение длины кривой;  $v_c$  – скорость центра груза.

Выразив скорость через параметры манипулятора, а длину кривой через координаты центра груза, приведем функционал к следующему виду:

$$T = \int_{x_{c1}}^{x_{c2}} \frac{\sqrt{1 + y_c'^2} dx_c}{\sqrt{l_2^2 \omega_2^2 + \omega_1 \omega_2 (l_1^2 - l_2^2) - \omega_1 (\omega_2 - \omega_1) (x_c^2 + y_c^2)}}, \quad (1)$$

где  $x_c, y_c$  – координаты центра груза;

$l_1$  – длина стрелы;

$l_2$  – расстояние от оси шарнирного соединения рукояти со стрелой до центра груза;

$\omega_1, \omega_2$  – угловая скорость стрелы и рукояти.

Рукоять манипулятора примем в качестве задающего органа, неизвестные функции  $\omega_1$  и  $y_c$  определяем из системы уравнений Эйлера–Лагранжа:

$$F_{\omega_1} - \frac{d}{dx_c} F_{\omega_1'} = 0; \quad (2)$$

$$F_{y_c} - \frac{d}{dx_c} F_{y'_c} = 0. \quad (3)$$

Здесь  $F_{\omega_1}, F_{\omega'_1}, F_{y_c}, F_{y'_c}$  обозначают частные производные подынтегральной функции функционала (1) по  $\omega_1, \omega'_1 = \frac{d\omega_1}{dx_c}$  и  $y_c, y'_c = \frac{dy_c}{dx_c}$ .

В результате решения системы уравнений (2) и (3) получены зависимости для угловой скорости стрелы и траектории переноса груза:

$$\omega_1 = \frac{\omega_2}{2} \left( 1 - \frac{l_1^2 - l_2^2}{x_c^2 + y_c^2} \right);$$

$$y_c'' = \frac{(y_c - x_c y'_c)(1 + y_c'^2) \left[ (x_c^2 + y_c^2)^2 - (l_1^2 - l_2^2)^2 \right]}{(x_c^2 + y_c^2) \left[ 4l_1^2 l_2^2 - (x_c^2 + y_c^2 - l_1^2 - l_2^2)^2 \right]}. \quad (4)$$

Поиск экстремалей, т.е. кривых, на которых достигается экстремум функционала (1), сводится к решению нелинейного дифференциального уравнения второго порядка (4).

Представляют интерес методы решения уравнения (4), которые могут быть использованы исследователями при решении задач оптимизации машин и механизмов в лесной промышленности.

*Решение нелинейного дифференциального уравнения второго порядка (4) методом степенных рядов.* Метод степенных рядов применим как к линейным дифференциальным уравнениям, так и к очень широкому классу нелинейных дифференциальных уравнений произвольного порядка, что делает его незаменимым при изучении очень большого числа разнообразных технических задач [2].

Запишем дифференциальное уравнение (4) в развернутом виде:

$$\begin{aligned} & 2(l_1^2 + l_2^2)x_c^4 y_c'' + 4(l_1^2 + l_2^2)x_c^2 y_c'^2 y_c'' + 2(l_1^2 + l_2^2)y_c^4 y_c'' - x_c^6 y_c'' - \\ & - 3x_c'' y_c'^2 y_c'' - 3x_c^2 y_c'^4 y_c'' - y_c^6 y_c'' - (l_1^2 - l_2^2)^2 x_c^2 y_c'' - (l_1^2 - l_2^2)^2 y_c^2 y_c'' = \\ & = x_c^4 y_c + x_c^4 y_c y_c'^2 - x_c^5 y_c' - x_c^5 y_c'^3 + 2x_c^2 y_c^3 + 2x_c^2 y_c^3 y_c'^2 - 2x_c^3 y_c'^2 y_c' - \\ & - 2x_c^3 y_c'^2 y_c'^3 + y_c^5 + y_c^5 y_c'^2 - x_c y_c^4 y_c' - x_c y_c^4 y_c'^3 - (l_1^2 - l_2^2)^2 y_c - \\ & - (l_1^2 - l_2^2)^2 y_c y_c'^2 + (l_1^2 - l_2^2)^2 x_c y_c' + (l_1^2 - l_2^2) x_c y_c'^3. \end{aligned} \quad (5)$$

Как рекомендуется в [3], решение дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, к которым относится уравнение (5), следует искать не в форме чистого степенного ряда, а в виде произведения некоторой степени на степенной ряд:



$$y_c = x_c^r \sum_{n=0}^{\infty} a_n x_c^n. \quad (6)$$

Коэффициент  $a_0$  считается отличным от нуля в виду неопределенности показателя  $r$ .

Перепишем выражение (6) в виде

$$y_c = \sum_{n=0}^{\infty} a_n x_c^{r+n} \quad (7)$$

и найдем его производные:

$$y_c' = \sum_{n=0}^{\infty} \dot{a}_n x_c^{n+r-1}; \quad (8)$$

$$y_c'' = \sum_{n=0}^{\infty} \ddot{a}_n x_c^{n+r-2}, \quad (9)$$

где  $\dot{a}_n = (n+r)a_n; \ddot{a}_n = (n+r)(n+r-1)a_n. \quad (10)$

Найдем также степени  $y_c$  и  $y_c'$ :

$$y_c^2 = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^{(2)} x_c^{n+2r}; \quad (11)$$

$$y_c^3 = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^{(4)} x_c^{n+5r}; \quad (12)$$

$$y_c^4 = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^{(4)} x_c^{n+4r}; \quad (13)$$

$$y_c^5 = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^{(5)} x_c^{n+5r}; \quad (14)$$

$$y_c^6 = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^{(6)} x_c^{n+6r}; \quad (15)$$

$$y_c'^2 = \sum_{n=0}^{\infty} \dot{a}_n^{(2)} x_c^{n+2(r-1)}; \quad (16)$$

$$y_c'^3 = \sum_{n=0}^{\infty} \dot{a}_n^{(3)} x_c^{n+3(r-1)}, \quad (17)$$

где  $a_n^{(2)} = a_0 a_n + a_1 a_{n-1} + \dots + a_{n-1} a_1 + a_n a_0; \quad (18)$

$$a_n^{(3)} = a_0 a_n^{(2)} + a_1 a_{n-1}^{(2)} + \dots + a_{n-1} a_1^{(2)} + a_n a_0^{(2)}; \quad (19)$$

$$a_n^{(4)} = a_0^{(2)} a_n^{(2)} + a_1^{(2)} a_{n-1}^{(2)} + \dots + a_{n-1}^{(2)} a_1^{(2)} + a_n^{(2)} a_0^{(2)}; \quad (20)$$

$$a_n^{(5)} = a_0 a_n^{(4)} + a_1 a_{n-1}^{(4)} + \dots + a_{n-1} a_1^{(4)} + a_n a_0^{(4)}; \quad (21)$$

$$a_n^{(6)} = a_0^{(3)}a_n^{(3)} + a_1^{(3)}a_{n-1}^{(3)} + \dots + a_{n-1}^{(3)}a_1^{(3)} + a_n^{(3)}a_0^{(3)}; \quad (22)$$

$$\dot{a}_n^{(2)} = \dot{a}_0\dot{a}_n + \dot{a}_1\dot{a}_{n-1} + \dots + \dot{a}_{n-1}\dot{a}_1 + \dot{a}_n\dot{a}_0; \quad (23)$$

$$\dot{a}_n^{(3)} = \dot{a}_0\dot{a}_n^{(2)} + \dot{a}_1\dot{a}_{n-1}^{(2)} + \dots + \dot{a}_{n-1}\dot{a}_1^{(2)} + \dot{a}_n\dot{a}_0^{(2)}. \quad (24)$$

Подставим выражения (7)–(17) в уравнение (5):

$$\begin{aligned} & 2(l_1^2 + l_2^2) \sum_{n=0}^{\infty} \ddot{a}_n x_c^{n+r+2} + 4(l_1^2 + l_2^2) \sum_{n=0}^{\infty} b_n x_c^{n+3r} + \\ & 2(l_1^2 + l_2^2) \sum_{n=0}^{\infty} c_n x_c^{n+5r-2} - \sum_{n=0}^{\infty} \ddot{a}_n x_c^{n+r+4} - 3 \sum_{n=0}^{\infty} b_n x_c^{n+3r+2} - \\ & - 3 \sum_{n=0}^{\infty} c_{n2} x_c^{n+5r} - \sum_{n=0}^{\infty} d_n x_c^{n+7r-2} - (l_1^2 - l_2^2)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \ddot{a}_n x_c^{n+r} - \\ & - (l_1^2 - l_2^2)^2 \sum_{n=0}^{\infty} b_n x_c^{n+3r-2} = \sum_{n=0}^{\infty} a_n x_c^{n+r+4} + \sum_{n=0}^{\infty} e_n x_c^{n+3r+2} - \\ & - \sum_{n=0}^{\infty} \dot{a}_n x_c^{n+r+4} - \sum_{n=0}^{\infty} \dot{a}_n^{(3)} x_c^{n+3r+2} + 2 \sum_{n=0}^{\infty} a_n^{(3)} x_c^{n+3r+2} + \\ & + 2 \sum_{n=0}^{\infty} q_n x_c^{n+3r+2} - 2 \sum_{n=0}^{\infty} h_n x_c^{n+5r} + \sum_{n=0}^{\infty} a_n^{(5)} x_c^{n+5r} + \sum_{n=0}^{\infty} j_n x_c^{n+7r-2} - \\ & - \sum_{n=0}^{\infty} k_n x_c^{n+5r} - \sum_{n=0}^{\infty} l_n x_c^{n+7r-2} - (l_1^2 - l_2^2)^2 \sum_{n=0}^{\infty} a_n x_c^{n+r} - \\ & - (l_1^2 - l_2^2)^2 \sum_{n=0}^{\infty} m_n x_c^{n+3r-2} + (l_1^2 - l_2^2)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \dot{a}_n x_c^{n+r} + \\ & + (l_1^2 - l_2^2)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \dot{a}_n^{(3)} x_c^{n+3r-2}, \end{aligned} \quad (25)$$

где  $b_n = a_0^{(2)}\ddot{a}_n + a_1^{(2)}a_{n-1} + \dots + a_{n-1}^{(2)}\ddot{a}_1 + a_n^{(2)}\ddot{a}_0; \quad (26)$

$$c_n = a_0^{(4)}\ddot{a}_n + a_1^{(4)}\ddot{a}_{n-1} + \dots + a_{n-1}^{(4)}\ddot{a}_1 + a_n^{(4)}\ddot{a}_0; \quad (27)$$

$$d_n = a_0^{(6)}\ddot{a}_n + a_1^{(6)}\ddot{a}_{n-1} + \dots + a_{n-1}^{(6)}\ddot{a}_1 + a_n^{(6)}\ddot{a}_0; \quad (28)$$

$$e_n = a_0\dot{a}_n^{(2)} + a_1\dot{a}_{n-1}^{(2)} + \dots + a_{n-1}\dot{a}_1^{(2)} + a_n\dot{a}_0^{(2)}; \quad (29)$$

$$f_n = a_0^{(3)}\dot{a}_n^{(2)} + a_1^{(3)}\dot{a}_{n-1}^{(2)} + \dots + a_{n-1}^{(3)}\dot{a}_1^{(2)} + a_n^{(3)}\dot{a}_0^{(2)}; \quad (30)$$

$$q_n = a_0^{(2)}\dot{a}_n + a_1^{(2)}\dot{a}_{n-1} + \dots + a_{n-1}^{(2)}\dot{a}_1 + a_n^{(3)}\dot{a}_0; \quad (31)$$

$$h_n = a_0^{(2)} \dot{a}_n^{(3)} + a_1^{(2)} \dot{a}_{n-1}^{(3)} + \dots + a_{n-1}^{(2)} \dot{a}_1^{(3)} + a_n^{(2)} \dot{a}_0^{(3)}; \quad (32)$$

$$j_n = a_0^{(5)} \dot{a}_n^{(2)} + a_1^{(5)} \dot{a}_{n-1}^{(2)} + \dots + a_{n-1}^{(5)} \dot{a}_1^{(2)} + a_n^{(5)} \dot{a}_0^{(2)}; \quad (33)$$

$$k_n = a_0^{(4)} \dot{a}_n^{(4)} + a_1^{(4)} \dot{a}_{n-1}^{(4)} + \dots + a_{n-1}^{(4)} \dot{a}_1^{(4)} + a_n^{(4)} \dot{a}_0^{(4)}; \quad (34)$$

$$l_n = a_0^{(4)} \dot{a}_n^{(3)} + a_1^{(4)} \dot{a}_{n-1}^{(3)} + \dots + a_{n-1}^{(4)} \dot{a}_1^{(3)} + a_n^{(4)} \dot{a}_0^{(3)}; \quad (35)$$

$$m_n = a_0 \dot{a}_n^{(2)} + a_1 \dot{a}_{n-1}^{(2)} + \dots + a_{n-1} \dot{a}_1^{(2)} + a_n \dot{a}_0^{(2)}. \quad (36)$$

Приравняв в уравнении (25) коэффициенты при  $x$  в степени  $n + r + 2$ ,  $n + 3r$ ,  $n = 5r - 2$ ,  $n + r + 4$ ,  $n + 3r + 2$ ,  $n + 5r$ ,  $n + 7r - 2$ ,  $n + r$ ,  $n + 3r - 2$  для случая, когда  $n = 0$ , получим следующую систему уравнений:

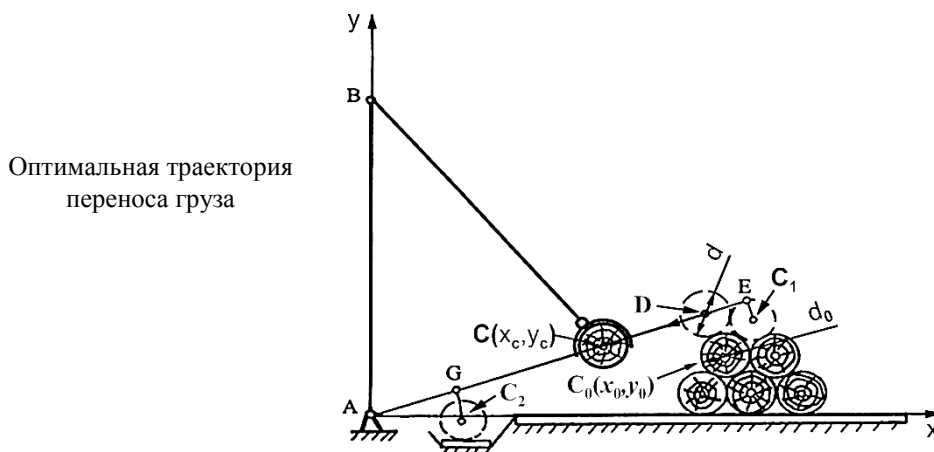
$$\left. \begin{aligned} 2(l_1^2 + l_2^2) \ddot{a}_0 &= 0; \\ 4(l_1^2 + l_2^2) b_0 &= 0; \\ 2(l_1^2 + l_2^2) C_0 &= 0; \\ -\ddot{a}_0 &= a_0 - \dot{a}_0; \\ -3b_0 &= e_0 - \dot{a}_0^3 + 2a_0^3 - 2d_0; \\ -3C_0 &= 2f_0 - 2h_0 + a_0^5 - k_0; \\ -d_{02} &= j_0 - l_0; \\ -(l_1^2 - l_2^2)^2 \ddot{a}_0 &= -(l_1^2 - l_2^2)^2 a_0 + (l_1^2 - l_2^2)^2 \dot{a}_0; \\ -(l_1^2 - l_2^2)^2 b_0 &= -(l_1^2 - l_2^2)^2 m_0 + (l_1^2 - l_2^2)^2 \dot{a}_0^3. \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

Подставим  $n = 0$  в формулы (10), (26)–(36):

$$\begin{aligned} \dot{a}_0 &= ra_0; \quad \ddot{a}_0 = r(r-1)a_0; \quad b_0 = r(r-1)a_0^3; \\ C_0 &= r(r-1)a_0^5; \quad d_0 = r(r-1)a_0^7; \\ e_0 &= r^2 a_0^3; \quad f_0 = r^2 a_0^5, \quad q = ra_0^3; \quad h = r^3 a_0^5; \\ j_0 &= r^2 a_0^7; \quad k_0 = ra_0^5; \quad l_0 = r^3 a_0^7; \quad m_0 = r^2 a_0^3. \end{aligned}$$

Если подставить полученные значения в систему уравнений (37) и преобразовать, то получим следующую систему уравнений:





Первое решение является уравнением прямой линии, проходящей через произвольную точку с координатами  $x_0, y_0$ , второе (аналитическое) решение записано через функцию Root Of и означает, что корень нельзя выразить в радикалах.

Получаем, что экстремум функционала (1) достигается на прямых радиальных линиях, проходящих через ось опорного шарнира А стрелы манипулятора. В структуру оптимальной траектории переноса груза (см. рисунок) входит отрезок радиальной прямой линии EG.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорохов С.П. Оптимизация по быстродействию траектории переноса груза манипулятором в раскрывочной установке // Лесн. журн. 1988. № 4. С. 48–53. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов. Том II. М.: Физматгиз, 1962. 576 с.
3. Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике. К.: Наук. думка, 1973. 743 с.

Поступила 13.07.11

**S.P. Dorokhov**

ОАО NPP “Start”

#### **Solution of the Euler Equation in a Speed-in-Action Problem for a Two-Link Vehicle Manipulator**

The article describes two methods of solving the Euler equation. The first method involves using power series and can be applied to a wide range of differential equations of a random order. The second method involves using a modern Maple software package.

*Key words:* equation, Euler, manipulator, speed-in-action, method, solution.

УДК 629.33

*Д.Г. Мясищев, А.С. Вашуткин*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Мясищев Дмитрий Геннадьевич родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортных машин Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 30 печатных работ в области разработки, создания и исследования мобильных средств малой механизации лесного комплекса.  
E-mail: d.myasishchev@narfu.ru



Вашуткин Александр Сергеевич родился в 1980 г., окончил в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, ст. преподаватель кафедры транспортных машин Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 4 печатные работы в области исследования лесовозного автомобильного транспорта.  
E-mail: vashutkin.a@yandex.ru



## **ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДА СЖАТОГО ВОЗДУХА МЕЖДУ ТОРМОЗНЫМИ КОЛОДКАМИ И ТОРМОЗНЫМ БАРАБАНОМ В ПРОЦЕССЕ ТОРМОЖЕНИЯ**

Рассмотрены вопросы, связанные с организацией и планированием экспериментального исследования подачи сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения, предложены конструктивные мероприятия, направленные на реализацию подвода сжатого воздуха.

*Ключевые слова:* тормозной механизм, тормозной барабан, тормозная колодка, редуктор, манометр, штуцер, тройник, сжатый воздух, электромагнитный клапан.

Для уменьшения тепловой нагруженности тормозные механизмы автолесовозов должны охлаждаться принудительно, путем подачи сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения [2].

Цель данного эксперимента – разработка методики и программы исследовательских испытаний тормозной системы автолесовоза с техническим решением подачи воздуха на фрикционные пары тормозных механизмов в процессе торможения.

В ходе проведения эксперимента использовался автомобиль-самосвал ЗИЛ-ММЗ, так как его тормозная система имеет конструктивные особенности, схожие с тормозными системами порталных автолесовозов, лесовозов на базе автомобилей МАЗ, КАМаз, КрАЗ. Объектом исследования являлись тормозные механизмы его задних ведущих колес, как наиболее теплонпряженные,

поскольку  $2/3$  массы данного автомобиля приходится на заднюю ось. Предметом экспериментального исследования послужили такие характеристики барабанных тормозных механизмов, как эффективность и стабильность их работы, которые оценивались коэффициентами эффективности тормоза  $C_T$  и относительной чувствительности  $e$ .

Для подвода в один из задних тормозных механизмов (между тормозным барабаном и тормозными колодками) сжатого воздуха через систему воздухопроводов и штуцеров предложена принципиальная схема, показанная на рис. 1.

Схема работает следующим образом. Сжатый воздух из ресивера 1 автомобиля поступает в управляемый редуктор 4 (типа клапан 122-16 УХЛ 4 ГОСТ 18468–79). Для контроля за давлением подаваемого воздуха в редуктор встроен манометр 3. Из редуктора воздух сначала поступает в электромагнитный клапан 5 (клапан газа СПБ Пг-24 ПВ-16) и далее, через систему тройников 6 и трубопроводов, – к штуцерам 9 тормозных колодок 7 (4 штуцера на одной колодке).

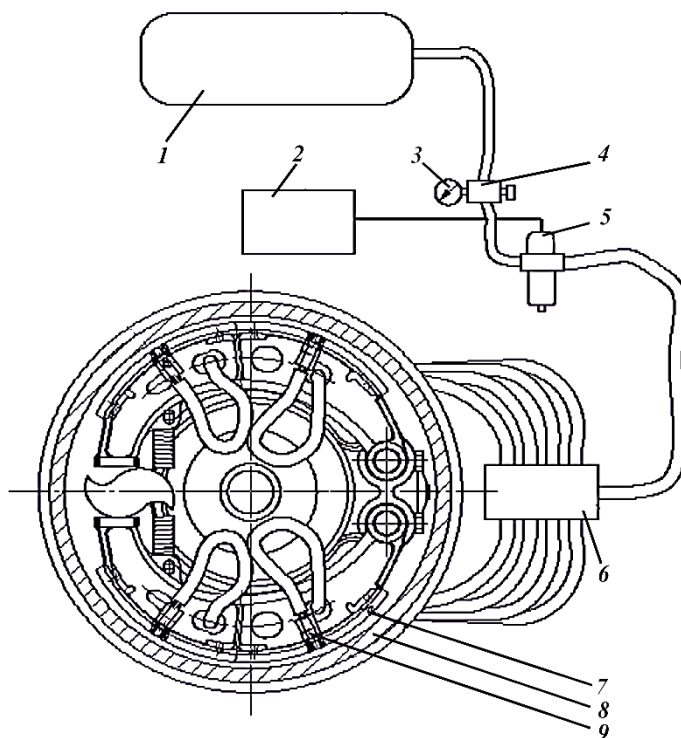


Рис. 1. Принципиальная схема подвода сжатого воздуха к тормозному механизму: 1 – ресивер; 2 – тормозной кран управления автомобиля; 3 – манометр; 4 – редуктор; 5 – электромагнитный клапан; 6 – тройник; 7 – колодка; 8 – тормозной барабан; 9 – штуцер

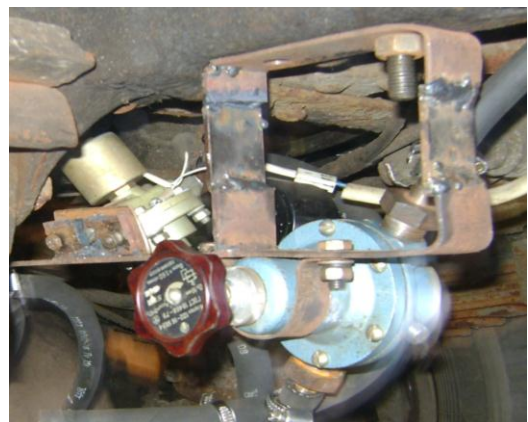
Электромагнитный клапан предназначен для того, чтобы подать воздух к тормозному механизму в процессе торможения и прекратить его подачу после торможения. Для этого электромагнитный клапан проводником соединен с конечным выключателем тормозного крана управления 2, который включает и задние стоп-сигналы. При нажатии на педаль тормоза сначала срабатывает конечный выключатель, который приводит в действие стоп-сигналы и электромагнитный клапан, последний начинает подавать сжатый воздух из редуктора к тормозным механизмам. Через некоторое время сжатый воздух поступает в пневматические камеры, и в работу вступает разжимной кулак, приводящий тормозные колодки в движение. После прекращения воздействия на педаль тормоза сжатый воздух перестает подаваться к тормозным камерам, а через некоторое время конечный выключатель отключает электромагнитный клапан и стоп-сигналы. При этом воздух некоторое время будет еще поступать в зону трения после процесса торможения.

В качестве оптимизационной задачи требуется варьировать давление подаваемого воздуха  $P_v$  к тормозным механизмам и диаметры подводящих отверстий  $d_o$  в штуцерах колодки. В ходе испытаний необходимо установить, при каком оптимальном сочетании этих характеристик и параметров будет создаваться воздушная подушка между тормозными колодками и тормозным барабаном, которая не будет снижать эффективность действия тормозных механизмов, а также будет наблюдаться качественное охлаждение фрикционных пар и высокие значения коэффициентов  $C_T$  и  $e$ .

Редуктор 4 предназначен для регулирования давления сжатого воздуха, поступающего к тормозному механизму, от 0 до 0,77 МПа. Давление сжатого воздуха было выбрано максимальным  $P_{v \max}$  потому, что компрессор автомобиля позволяет его создать и в этом случае нет необходимости в дополнительном компрессоре, установка которого может привести к удорожанию эксперимента, а в дальнейшем и конструкции автомобиля.

Электромагнитный клапан и редуктор были расположены в задней части автомобиля, как можно ближе к левому экспериментальному тормозному механизму. Их крепление показано на рис. 2.

Рис. 2. Установка редуктора и электромагнитного клапана на одном кронштейне в задней части автомобиля





Максимальный диаметр отверстия в колодке (во фрикционной накладке) для установки в нее штуцера выбирали из условия, чтобы на ее поверхность приходилось давление, не разрушающее фрикционный материал [1]. В работе [3] отмечено, что удельная нагрузка на фрикционную накладку не должна превышать  $2,5 \text{ кгс/см}^2$  (0,25 МПа). Удельная нагрузка, приходящаяся на одну фрикционную накладку (с учетом изготовления в ней отверстий) составила 0,178 МПа. Следовательно, отверстия под штуцера во фрикционной накладке не приводят к потере ее прочности, так как  $0,178 \text{ МПа} < 0,25 \text{ МПа}$ .

Число подводящих сжатый воздух штуцеров в колодке и их расположение выбирали, учитывая конструктивный и динамический факторы. Поэтому на одну колодку было установлено 4 штуцера: по 2 с одной и с другой стороны реборды. При большем числе штуцеров на одну колодку возникают трудности в подводе воздуха к ним, так как мало внутреннее пространство тормозного механизма. При симметричном расположении штуцеров воздух будет равномерно обтекать поверхность колодки, при этом колодка будет обладать высокой устойчивостью.

Установка штуцеров в тормозной колодке приведена на рис. 3.

Для изменения внутренних отверстий штуцеров, установленных в тормозную колодку, были изготовлены вставки из текстолита. Вставки крепятся в тормозной накладке и имеют следующие диаметры  $d_0$  внутренних отверстий, мм: 2,0; 2,9; 5,0; 7,1 и 8,0 (рис. 4).

Для уменьшения количества весьма дорогих и трудоемких стендовых опытов за основу были приняты равномер-ротатбельные композиционные планы второго порядка (план Бокса–Хантера) [4].

В качестве функций отклика требуется определить косвенные показатели: коэффициенты  $C_T$  и  $e$ . Прямым показателем измерения, оценивающим косвенные показатели, являлась тормозная сила ( $P_T$ , Н). В качестве варьируемых конструктивных параметров тормозного механизма выбраны давление подаваемого через штуцер воздуха  $P_B$  и диаметр подводящих отверстий, вворачиваемых во фрикционную накладку, с учетом ее прочности  $d_0$ .



Рис. 3. Установка штуцеров в тормозных колодках



Рис. 4. Текстолитовые вставки

Методика проведения эксперимента включает в себя следующие этапы: определение уровней рассматриваемых факторов ( $P_v$  и  $d_o$ ) и интервалов их варьирования;

построение плана (матрицы планирования) эксперимента.

Верхние уровни рассматриваемых факторов ( $P_{v \max} = 0,77$  МПа,  $d_{o \max} = 8,0$  мм) определены выше. При увеличении диаметра выходного отверстия в штуцере более 8,0 мм возрастает расход воздуха из ресивера, падает производительность компрессора, уменьшается быстрдействие тормозного механизма за счет создания мощной воздушной подушки между тормозными колесами и тормозным барабаном.

Нижние уровни рассматриваемых факторов: минимальное давление подаваемого воздуха  $P_{v \min} = 0$  МПа (редуктор закрыт); минимальный диаметр подводящего отверстия в штуцере  $d_{o \min} = 2,0$  мм. Установка меньшего диаметра подводящего отверстия в штуцере приводит к созданию завихрений подаваемого воздуха в зону трения, которые уменьшают его эффективность как охлаждающего агента, а также к неудовлетворительному удалению влаги и грязи с поверхностей трения.

Определим интервалы варьирования рассматриваемых факторов согласно плану эксперимента Бокса–Хантера [4]: по давлению подаваемого воздуха ( $X_1$ )

$$P_{v \min} \leq P \leq P_{v \max}, \quad 0 \leq P \leq 0,77 \text{ МПа}, \quad P_0 \approx 0,39 \text{ МПа};$$

$$- \alpha = 0, \quad + \alpha = 0,77 \text{ МПа};$$

$$-1 = \frac{0 - 0,39(1 - 1,41)}{1,41} \approx 0,12 \text{ МПа};$$

$$+1 = \frac{0 - 0,39(1 - 1,41)}{1,41} \approx 0,66 \text{ МПа};$$

$$\Delta P = (0,66 - 0,12)/2 = 0,27 \text{ МПа};$$

по диаметру подводящих отверстий в штуцерах ( $X_2$ )

$$d_{o \min} \leq d \leq d_{o \max}, \quad 2,0 \leq d \leq 8,0 \text{ мм}, \quad d_0 \approx 5,0 \text{ мм};$$

$$- \alpha = 2,0 \text{ мм}, \quad + \alpha = 8,0 \text{ мм};$$

$$-1 = \frac{2 - 5(1 - 1,41)}{1,41} \approx 2,9 \text{ мм};$$

$$+1 = \frac{8 - 5(1 - 1,41)}{1,41} \approx 7,1 \text{ мм};$$

$$\Delta d = (7,1 - 2,9)/2 = 2,1 \text{ мм}.$$

Обозначения, используемые в формулах и таблице:  $-\alpha$  и  $+\alpha$  – соответственно отрицательное и положительное значение звездных плеч;  $-1$  и  $+1$  – нижний и верхний уровни варьирования;  $0$  – центр эксперимента;  $\Delta X_j$  – интервал варьирования факторов ( $j = 1, 2$ ).

План эксперимента представлен в табл. 1.

Таблица 1

| Фактор      | Уровни варьирования |      |      |      |           | $\Delta X_j (j = 1, 2)$ |
|-------------|---------------------|------|------|------|-----------|-------------------------|
|             | $-\alpha$           | $-1$ | $0$  | $+1$ | $+\alpha$ |                         |
| $X_1$ , МПа | 0                   | 0,12 | 0,39 | 0,66 | 0,77      | 0,27                    |
| $X_2$ , мм  | 2,0                 | 2,9  | 5,0  | 7,1  | 8,0       | 2,1                     |

Матрица факторного эксперимента (план Бокса-Хантера, ядро  $2^2$ ) приведена в табл. 2 (количество опытов – 13).

Таблица 2

| Кодированные факторы |          | $Z_{1K}, Z_{2K_i}$ | $Z_{1K_i}^2$ | $Z_{2K_i}^2$ |
|----------------------|----------|--------------------|--------------|--------------|
| $Z_{1K}$             | $Z_{2K}$ |                    |              |              |
| -1                   | -1       | +1                 | +1           | +1           |
| +1                   | -1       | -1                 | +1           | +1           |
| -1                   | +1       | -1                 | +1           | +1           |
| +1                   | +1       | +1                 | +1           | +1           |
| -1,41                | 0        | 0                  | 1,988        | 0            |
| +1,41                | 0        | 0                  | 1,988        | 0            |
| 0                    | -1,41    | 0                  | 0            | 1,988        |
| 0                    | +1,41    | 0                  | 0            | 1,988        |
| 0                    | 0        | 0                  | 0            | 0            |
| 0                    | 0        | 0                  | 0            | 0            |
| 0                    | 0        | 0                  | 0            | 0            |
| 0                    | 0        | 0                  | 0            | 0            |
| 0                    | 0        | 0                  | 0            | 0            |
| 0                    | 0        | 0                  | 0            | 0            |

После создания экспериментальной установки, определения варьируемых конструктивных параметров и косвенных показателей в качестве функций отклика, построения плана эксперимента решался вопрос о его непосредственном проведении.

Как уже отмечалось выше, измеряемой величиной при испытаниях является тормозная сила задних ведущих колес автомобиля, на основании которой можно косвенно судить о коэффициентах трения  $f$ , эффективности тормоза  $C_T$  и относительной чувствительности  $e$  тормозного механизма.

Перед нами стояла задача доказать, что давление воздуха, создаваемое между тормозной колодкой и тормозным барабаном, не будет противодействовать тормозной силе, прижимающей колодки к барабану во время процесса торможения, а также будет наблюдаться повышение коэффициентов  $f$ ,  $C_T$  и  $e$ . В ходе эксперимента\* подача воздуха происходила в процессе торможения и прекращалась после его завершения. При определении тормозной силы параллельно на обоих колесах регистрировали и температуру внутренних поверхностей тормозных барабанов.

\*Место проведения эксперимента – пункт технического осмотра ООО «Авто-транспортное предприятие -1» г. Архангельска.

Для определения тормозной силы использовали компьютеризированный однорамный тормозной стенд (экран «люкс» 28", 15Т / 2\* 11кВт /44803, модель 7515-М 11FP NORD + 102561 фирмы «Muller-BEN», сер. № 330), который прошел периодическую поверку (периодичность поверки 12 мес.), что подтверждается соответствующим документом. Данный стенд позволяет регистрировать тормозную силу как графически, сопоставляя на графике тормозную силу правого и левого (экспериментального) колес, так и с помощью карты диагностики, в которой указано численное значение тормозной силы. Класс точности (погрешность) данного стенда –  $\Delta \pm 200$  Н ( $\pm 2$  %); предел измерений – по ГОСТ Р 51709–2001. Значения тормозной силы на колесах грузовых автомобилей приведены в [5].

Согласно плану эксперимента (табл. 2) было запланировано 13 опытов, пять из которых дублировались, т. е. технологически требовалось пять раз снимать левое заднее колесо и устанавливать вставыши в тормозную накладку. После этого колесо устанавливали на ступицу и регулировали тормозные механизмы. Это выполнялось для того, чтобы обеспечить одинаковый зазор между тормозными колодками и тормозным барабаном у обоих колес и равномерное срабатывание тормозных механизмов. Торможение колес производили пять раз и определяли среднее значение тормозной силы на каждом колесе. Согласно плану эксперимента параллельно устанавливали давление подаваемого воздуха к тормозному механизму. Опыты были рандомизированы.

Перед началом стендовых испытаний требовалось обеспечить следующие условия: шины автомобиля при испытании должны быть чистыми и сухими с давлением воздуха, соответствующим нормативному значению, тормозные механизмы – «холодными».

В результате организации и планирования экспериментального исследования можно сделать вывод, что с учетом предлагаемого переоборудования тормозной системы автомобиля, сложности исследовательского процесса целесообразно применение методов оптимального планирования эксперимента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров М.П., Лысяков А.Г., Новожилов М.В. Тормозные устройства: справ. / Под общ. ред. М.П. Александрова. М.: Машиностроение, 1985. 312 с.
2. Вакуткин А.С., Мясницев Д.Г. Анализ функционирования барабанных тормозных механизмов автобусов и пути улучшения их показателей // Лесн. журн. 2010. № 3. С. 61–68. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Генбом Б.Б. Вопросы динамики торможения и теории рабочих процессов тормозных систем автомобилей. Львов, 1974. 234 с.
4. Методы организации эксперимента и обработки его результатов: метод. указания / А.П. Плехотин, Л.Г. Михалкина, В.А. Курочкина, М.М. Овчинников. Л.: ЛТА, 1982. 59 с.
5. РД 200 РСФСР 15-0150–81. Руководство по диагностике технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта.

Поступила 04.10.11

*D.G. Myasishchev, A.S. Vashutkin*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**Organization and Planning of the Experimental Study of Compressed Air Supply  
between the Brake Pads and Brake Drum under Deceleration**

The article describes the parameters of the drum brake gear performance and lists the factors affecting the heat load of the drum brakes. Structural measures reducing the heat load of the brakes and improving their work are considered.

*Key words:* brake gear, brake drum, brake shoe, reduction drive, manometer, connecting pipe, tee, compressed air, solenoid valve.

---

УДК 62-771

*С.А. Абраменко*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Абраменко Сергей Анатольевич родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры транспортных машин Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.  
Тел.: 8(8182) 21-61-72



### **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА ПОДЪЕМНИКА КАК КОМПОНЕНТА СИСТЕМЫ СЕРВИСА ЛЕСНЫХ МАШИН В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ ЛЕСОЗАГОТОВОК**

Рассмотрены вопросы выбора специализированного подъемного оборудования, которое можно адаптировать либо для его применения в условиях лесозаготовок как самостоятельную единицу, либо использовать при проектировании мобильных станций обслуживания лесозаготовительных машин как составную часть систем технического сервиса, например, в структуре официальных дилеров-поставщиков техники.

*Ключевые слова:* технологические машины, лесной комплекс, лесозаготовка, рубка, система технического сервиса, электрогидравлический подъемник.

В настоящее время лесной комплекс России не утратил своего места в экономической нише. При этом неуклонно растут требования к повышению фактора ресурсосбережения, показателей эксплуатационной эффективности, экологической безопасности и социальной значимости при использовании систем и комплексов машин в лесозаготовительном производстве. Следует отметить тенденцию расширения использования в лесном комплексе зарубежной лесозаготовительной техники ведущих фирм-производителей (JOHN DEER, KOMATSU, PONSSE и др.). К сожалению, необходимо отметить угасание активности отечественного лесного машиностроения (Онежский и Алтайский тракторные заводы и их предприятия сателлиты).

В зависимости от специфических эксплуатационных условий в каждом конкретном регионе России преобладает использование лесозаготовительной техники или зарубежных, или отечественных производителей.

Многие предприятия и лесопромышленные холдинги имеют финансовые трудности в обновлении парка устаревшей лесной техники. Поэтому для них актуально повышение уровня сервисного обеспечения имеющихся и приобретаемых вновь технически сложных лесозаготовительных и лесотранспортных машин. Зная отечественную специфику лесозаготовительного процесса, необходимо учитывать его территориальные особенности: удаленность

участков заготовки древесины от центральных сервисных пунктов официальных дилеров; отсутствие необходимой транспортной инфраструктуры для своевременного обеспечения качественного функционирования сервисных структур; разнообразие почвенно-климатических условий.

В связи с этим необходимо обратить особое внимание на формирование первостепенных комплектов различных видов сервисного оборудования для применения его в условиях лесозаготовительных участков, прежде всего, пройденных сплошными и выборочными рубками.

Для выбора рационального типа подъемника, удобного для перевозок с одного временного полевого сервисного центра на другой, использовали опыт формирования специализированного оборудования в современных автосервисах.

В настоящее время подъемники для транспортных и технологических машин широко применяются в Германии (24 фирмы выпускают подъемники), Англии (16) и др. странах. Причем некоторые фирмы выпускают по 10 и более моделей [5]. В первоисточниках приводится оценка разных типов подъемников для обслуживания транспортных и технологических машин [1]. Классификация данного вида специализированного сервисного оборудования по различным признакам (назначение, особенности конструкции) приведена в [5, с. 80–83]).

Цель нашей работы – обоснование выбора для полевых условий лесозаготовок рационального типа подъемника лесных машин как составной части системы технического сервиса в структуре официальных дилеров-поставщиков техники.

На основании анализа первоисточников, прежде всего данных интернет-сайтов, для достижения поставленной цели методом гипотез [4] нами выбран удельный комплексный показатель оценки исследуемых вариантов – цена конкретного погрузчика, отнесенная к единице его грузоподъемности, приведенной к одной стойке:

$$K = C/(QN),$$

где  $K$  – исследуемый удельный показатель, р./( $t \cdot$ шт.);

$C$  – цена (в ценах 2010-11 гг.) подъемника  $N$ -стоечного типа, р.;

$Q$  – проектная грузоподъемность оборудования, т;

$N$  – количество стоек подъемника, шт.

Нами проанализировано более 20 подъемников  $N$ -стоечного типа ( $N = 2 \dots 8$ ) с электромеханическим и электрогидравлическим приводами отечественных и зарубежных производителей [2, 3]. Первичные материалы были представлены в виде диаграмм, изображенных на рис. 1.

После усреднения первичных исходных данных были произведены соответствующие расчеты, результаты которых после интерполяции методом кубических сплайнов интерпретированы на рис. 2.

#### *Пример использования полученных данных*

Требуется выбрать тип подъемника в целях приобретения или проектирования для сервисного пункта лесозаготовительных машин в полевых условиях.

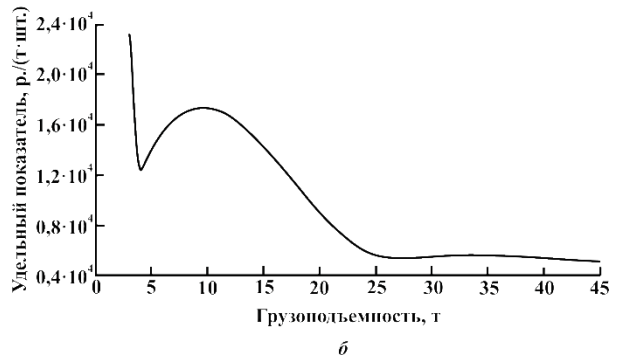
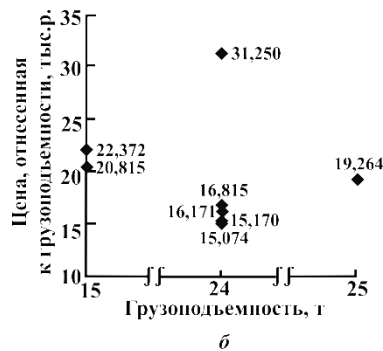
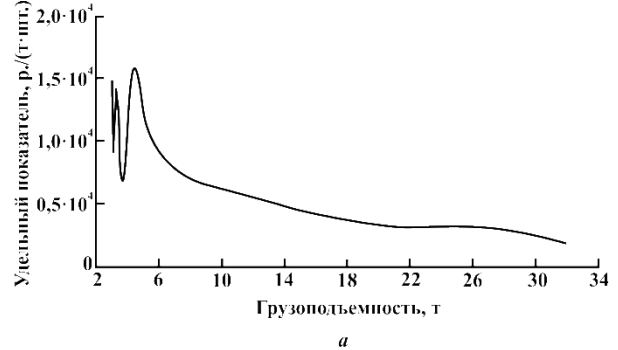
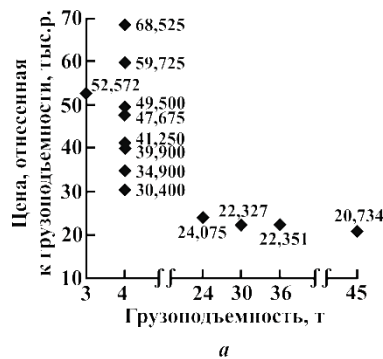


Рис. 1. Выборочная диаграмма для 4-стоечных электрогидравлических (а) и 6-стоечных электро-механических (б) подъемников

Рис. 2. Интерпретация удельного показателя  $K$  для электромеханических (а) и электрогидравлических (б) подъемников

Исходные предпосылки: территория лесозаготовок – восточный район Архангельской области; низкая несущая способность почвогрунтов; вид рубок – выборочные; предприятие – потребитель лесозаготовительной техники от официального дилера JOHN DEER, технология заготовки древесины – комбинированная (сортиментная и хлыстовая). Система машин (в скобках указана конструктивная масса): сортиментная технология – гусеничный харвестер на шасси 2054 (24,5 т), колесный форвардер 1710D (20,4 т); хлыстовая технология – валочно-пакетирующая машина JD753J (24,3 т), скидер 748G-III (15,6 т), сучкорезная машина 2054 (23,1 т), гусеничный лесопогрузчик на шасси 2054 (24,5 т).

Представленная исходная информация указывает на целесообразность выбора электромеханического подъемника с параметрами  $Q = 24$  т,  $N = 8$  и электрогидравлического с параметрами  $Q = 24$  т,  $N = 4$ .

Прогнозируемая цена намеченных объектов (из рис. 2 и представленной выше формулы) электромеханического подъемника составляет 616 320 р., электрогидравлического – 536 448 р. Последний вариант имеет ощутимый положительный баланс цены, что важно для бизнес-планирования капитальных вложений при организации предполагаемого полевого сервисного пункта.



С конструктивной точки зрения следует отдать предпочтение комплекту из 4 подкатных колонн при условии предварительной подготовки площадки для их использования (планирование опорной поверхности, навес). Это позволяет решить проблему их рационального размещения как при непосредственном применении, так и в нерабочем состоянии. Подъемные «лапы» должны быть оснащены опорами, адаптированными к соответствующим машинам, для их надежного удержания за ходовую систему при подъеме и опускании.

Из отечественных подъемников наиболее близок к рассматриваемому варианту автомобильный подъемник (комплект стоек) SIVIK Ермак 24000 (Омск) ценой 618 000 р. (2012 г). Отличие от рассмотренного расчетного варианта составляет 13 %, что указывает на корректность предлагаемого интерполяционного решения.

#### *Выводы*

1. В условиях полевых сервисных пунктов для лесных машин целесообразно применение комплектов подкатных колонн с электрогидравлическим приводом (например, из 4 колонн общей грузоподъемностью 24 т).

2. Представленный методический подход может быть применен при выборе типа и конструкции подъемников для лесных машин в полевых условиях лесозаготовительного участка как на этапе планирования сервисного пункта, так и при проектировании оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мясищев Д.Г.* Гидравлические и пневматические системы автомобилей и гаражного оборудования: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2010. 106 с.
2. Режим доступа: <http://science-bsea.narod.ru>
3. Режим доступа: <http://mbavto.com.ua>
4. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Валуев С.А. [и др.]; под общ. ред. С.А. Валуева и В.Н. Волковой. Л.: Политехника, 1991. 397 с.
5. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: механизация и экологическая безопасность производственных процессов: учеб. пособие / В.И. Сарбаев, С.С. Селиванов, В.Н. Коноплев, Ю.Н. Демин. Ростов н/Д: Феникс, 2004. 448 с.

Поступила 22.02.11

*S.A. Abramenko*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Validation of Lift Device Type Choice as a Component of a Logging Machinery Service System**

A question of a specialized lift device choice has been examined in the paper. The load-lifter has to be adapted for usage either as an independent item of logging machinery or as a part of a harvesting equipment. service system.

*Key words:* technological machinery, forest complex, logging, felling , technical service system, electric-hydraulic load-lifter.



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.053:621.93

*А.Н. Галашев, М.А. Хвиюзов*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова

Галашев Александр Николаевич родился в 1963 г., окончил в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 40 печатных работ в области технологии лесопромышленного производства.

E-mail: galashev@list.ru



Хвиюзов Михаил Андреевич родился в 1981 г., окончил в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, старший преподаватель Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 10 печатных работ в области технологии лесопромышленного производства.

E-mail: mik5512@yandex.ru



### РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ОХЛАЖДЕНИЯ КРУГЛЫХ ПИЛ В ПЕРИОД ХОЛОСТОГО ХОДА

Рассмотрен вопрос об охлаждении пильного диска во время холостого хода круглопильного станка, предложен расчет времени изменения температурного перепада в зависимости от коэффициента теплоотдачи.

*Ключевые слова:* круглая пила, температурный перепад, время охлаждения, коэффициент теплоотдачи, пирометр, математическая модель.

Основной причиной снижения работоспособности круглых пил для продольной распиловки древесины является возникновение чрезмерного температурного перепада, который приводит к потере устойчивой плоской формы.

Многочисленными исследованиями установлено, что изменение температуры пильного диска изначально происходит в результате преобразования механической энергии, затрачиваемой на резание, в тепловую. Часть образующейся тепловой энергии накапливается и неравномерно распределяется по радиусу диска. Характер температурного перепада (положительный или отрицательный) определяется разницей температур периферийной и средней зон диска.

На сегодняшний день установлены основные причины возникновения и критические значения температурных перепадов, а также меры по предотвращению их возникновения. Основными мероприятиями по ликвидации

температурных перепадов являются принудительное охлаждение, дополнительное нагрев и совершенствование конструкции круглых пил. Следует отметить, что охлаждение пил, а следовательно, и снижение значений температурных перепадов происходит и во время холостого хода пилы круглопильного станка, т. е. во время межторцовых разрывов. Расчет времени холостого хода с позиции сохранения допустимого температурного перепада необходимо выполнять на основе закономерностей конвективного теплообмена.

Цель наших исследований – установление продолжительности холостого хода круглопильного диска в зависимости от температурного перепада в аналитическом виде с последующим экспериментальным подтверждением.

При положительном температурном перепаде считается, что теплота, поступающая в диск, концентрируется осесимметрично в периферийной зоне на величину 0,2–0,3 от радиуса диска [1, 3]. На рис. 1 представлена схема размещения кольцевой нагретой зоны пильного диска, позволяющая определить основные исходные параметры для расчета теплообмена. Будем считать, что температура периферийной зоны превышает температуру охлаждающего воздуха и температуру средней зоны (последние равны между собой).

$$R_1 = D/2 - h_3; \quad (1)$$

$$R_2 = 0,8R_1; \quad (2)$$

$$R_{cp} = 0,9R_1; \quad (3)$$

$$S = 0,2R_1; \quad (4)$$

$$F = 0,36\pi R_1^2, \quad (5)$$

где  $D$  – диаметр пилы, м;

$h_3$  – высота зубьев, м;

$S$  – ширина кольца, м;

$F$  – площадь кольца, м<sup>2</sup>.

Охлаждение пилы относится к процессам нестационарной теплопроводности, так как перенос теплоты от диска происходит при изменении температуры с течением времени. Если принять, что температура во всех точках кольца нагрева с течением времени изменяется по одному и тому же закону, то режим нестационарной теплопроводности считается регулярным. Так как температура воздуха ( $T_b$ , К), теплопроводность ( $\lambda$ , Вт/(м·К)), температуропроводность ( $a$ , м<sup>2</sup>/с) и коэффициент теплоотдачи ( $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К)) кольца являются постоянными, можно говорить о некотором темпе регулярного режима охлаждения  $m$ , который рассчитывается в зависимости от числа Би и безразмерной координаты  $\varepsilon_1$  [6]:

$$m = \varepsilon_1^2 a / \delta^2; \quad (6)$$

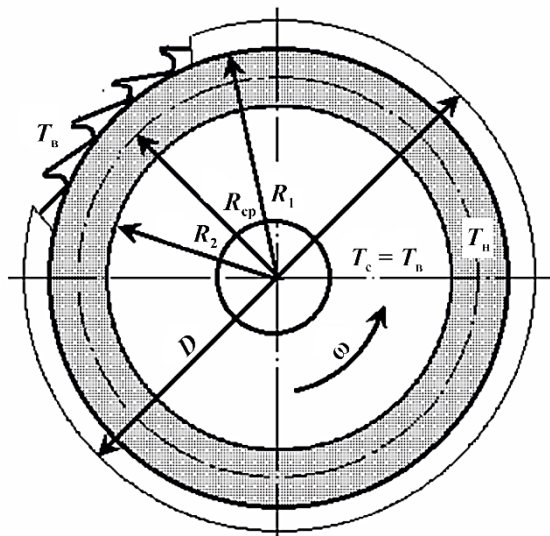


Рис. 1. Схема размещения кольца нагрева

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\text{Bi}}; \quad (7)$$

$$\text{Bi} = \alpha\delta/\lambda. \quad (8)$$

Здесь  $\delta$  – толщины диска, мм.

Используя полученное значение  $m$ , можно определить температуру кольца через время  $t_1$ :

$$T_1 \approx T_B + T_H e^{-mt_1}, \quad (9)$$

где  $T_B$  и  $T_H$  – температура соответственно воздуха и поверхности кольца.

Формула (9) показывает приблизительное соотношение между временем охлаждения и температурой кольца. Для определения более точного значения времени охлаждения предлагается использовать аналитическое решение нестационарной задачи теплопроводности.

Если учесть, что удельное термическое сопротивление теплоотдачи  $1/\alpha$  от охлаждающего воздуха к пильному диску значительно больше удельного термического сопротивления переносу теплоты теплопроводностью внутри диска от его поверхности к центральному сечению  $\delta/\lambda$ , т. е.  $\alpha \ll \lambda/\delta$  при  $\delta \approx 0,05\sqrt{2R_1}$  ( $R_1$  – радиус окружности межзубовых впадин, м), то нагретое кольцо диска можно рассматривать в качестве термически тонкого тела. В каждый момент времени температура  $T_1$  внутри такого тела успевает выровняться за счет интенсивного переноса теплоты теплопроводностью. Значение температуры  $T_1$  зависит только от времени  $t$  и не зависит от координат [5].

Количество теплоты, отданное кольцом за время  $dt$ :

$$dQ_o = -c_p \rho V dT, \quad (10)$$

где  $c_p$  – удельная теплоемкость материала диска пилы, Дж/(кг·К);

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

$V$  – объем кольца нагрева пильного диска, ограниченного окружностями с радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , м<sup>3</sup>.

Эта теплота одновременно поступает к окружающему воздуху с температурой  $T_B$  от поверхности кольца, имеющей температуру  $T_H$ :

$$dQ_n = 2\alpha F(T_H - T_B)dt. \quad (11)$$

Исходя из закона сохранения энергии

$$dQ_n = dQ_o = 2\alpha S(T_H - T_B)dt = -c_p \rho V dt. \quad (12)$$

После преобразования получаем

$$dt = -\frac{c_p \rho b}{2\alpha} \frac{dT}{T - T_B}; \quad (13)$$

$$t = -\frac{c_p \rho_c b}{2\alpha} \int \frac{dT}{T_H - T_B} = -\frac{c_p \rho_c b}{2\alpha} \ln|T_H - T_B| + C. \quad (14)$$

Здесь  $b$  – толщина диска, м;

$C$  – постоянная интегрирования.

При начальных условиях  $t = 0$  рассчитаем время охлаждения кольца до температуры  $T_1$ :

$$t = -\frac{c_p \rho_c b}{2\alpha} \ln \frac{T_1 - T_B}{T_H - T_B}. \quad (15)$$

Анализ формулы (15) показал, что при постоянных (не изменяющихся в процессе пиления) параметрах дисковой пилы и регистрируемом температурном перепаде доминирующее влияние на время охлаждения оказывает теплоотдача. Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  зависит от многочисленных факторов (физические свойства охлаждающей среды, скорость движения, направление охлаждающего и теплового потоков, состояние поверхности диска и т.д.), учесть их все в полной мере практически невозможно. В связи с этим коэффициент  $\alpha$  либо определяют по эмпирическим формулам, которые получают при обработке опытных данных на основе теории подобия, либо используют выбранный непосредственно по опытным данным для аналогичных случаев.

В целях упрощения устанавливалось примерное среднее значение коэффициента  $\bar{\alpha}$  при конвективном теплообмене для сечения диска, совпадающего с окружностью внутри кольца нагрева радиусом  $R_{cp}$ :

$$\bar{\alpha} = \lambda_b \bar{Nu} / 0,9R_1, \quad (16)$$

где  $\lambda_b$  – теплопроводность воздуха, Вт/(м·К);

$\bar{Nu}$  – среднее значение числа Нуссельта для турбулентного режима [6],

$$\bar{Nu} = 0,037 Re^{0,8} Pr_b^{0,43} (Pr_b / Pr_c)^{0,25}; \quad (17)$$

Re – число Рейнольдса,

$$Re = \frac{0,81\omega R_1^2}{\nu_b}; \quad (18)$$

$\omega$  – угловая скорость пильного диска, с<sup>-1</sup>;

$\nu_b$  – вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;

$Pr_b, Pr_c$  – числа Прандтля соответственно для воздуха и стали.

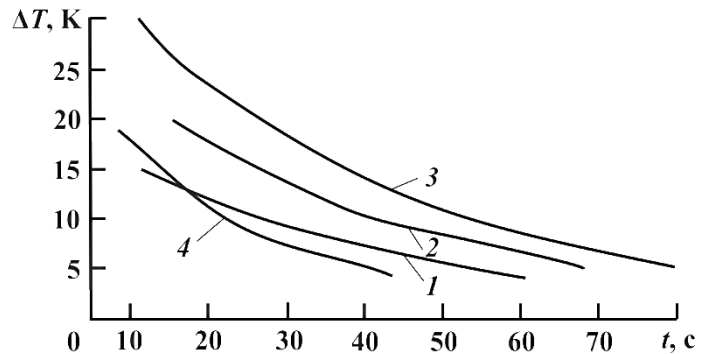
Если учитывать, что теплообмен от пильного диска имеет сложный характер, т. е. одновременно с конвекцией присутствует теплоотдача излучением поверхности кольца нагрева, то в формуле (15) должен быть принят суммарный коэффициент теплоотдачи. Но предварительные расчеты показали, что ввиду малости площади кольца  $F$  (до 0,1 м<sup>2</sup>) и температуры нагрева (до 70 °С) коэффициент теплоотдачи излучением  $\alpha_{и}$  не превышает 1 % от  $\bar{\alpha}$ , поэтому в инженерных расчетах его не учитывали.

Реализация представленной математической модели была выполнена для круглопильного станка Ц6-2 со следующими входными параметрами: частота вращения пильного вала – 2900 об/мин ( $\omega = 304$  с<sup>-1</sup>), диаметр пилы 400 мм, толщина пилы – 2,8 мм, высота зубьев – 15 мм, материал пилы – сталь низколегированная хромованадиевая 9ХФ ( $\rho = 7790$  кг/м<sup>3</sup>,  $c_p = 486$  Дж/(кг·К),  $\lambda_c = 52,3$  Вт/(м·К),  $Pr_c = 1,75$  [4]), температура воздуха – 20 °С ( $\lambda_b = 0,0259$  Вт/(м·К),  $\nu_b = 15,06 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $Pr_b = 0,7$ ). Результаты расчетов представлены в таблице.

| $T_H - T_B$ | $T_1 - T_{B*}$ | $t, c$ | $T_H - T_B$ | $T_1 - T_B$ | $t, c$ | $T_H - T_B$ | $T_1 - T_B$ | $t, c$ |
|-------------|----------------|--------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|--------|
| К           |                |        | К           |             |        | К           |             |        |
| 20          | 15             | 10,9   | 30          | 20          | 15,1   | 40          | 30          | 10,9   |
|             | 10             | 26,4   |             | 15          | 26,3   |             | 25          | 17,0   |
|             | 5              | 52,9   |             | 10          | 41,2   |             | 20          | 26,4   |
|             | 4              | 61,0   |             | 5           | 68,1   |             | 15          | 37,4   |
|             |                |        |             |             |        |             | 10          | 52,9   |
|             |                |        |             |             |        |             | 5           | 79,4   |

Для оценки достоверности математической модели реальному процессу были проведены экспериментальные исследования. Начальный температурный перепад составил 28 К, температуру кольца нагрева измеряли ручным инфракрасным пирометром CONDTRON IR-T2.

Рис. 2. Влияние времени охлаждения  $t$  на температурный перепад  $\Delta T$ : 1 – 3 – расчетные (теоретические) кривые соответственно для  $T = 20, 30$  и  $40$  К; 4 – экспериментальная кривая



На рис. 2 представлено изменение температуры кольца нагрева пильного диска (температурный перепад) от времени охлаждения. Как видно из рис. 2, скорость охлаждения несколько (на 6...8 %) выше расчетной. Это объясняется влиянием некоторых свойств охлаждающей среды и материала диска, которые не учитывает предложенная модель.

Таким образом, представленная модель и результаты могут быть использованы для определения времени межторцовых разрывов в целях повышения работоспособности круглопильных станков при продольной распиловке древесины [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санев В.И. Обработка древесины круглыми пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 232 с.
2. Соловьев В.В., Михайлова А.Р. Расчет на прочность дереворезущих пильных инструментов на стадии разрушения // Лесн. журн. 1983. № 6. С. 62–67. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Стахийев Ю.М. Работоспособность круглых пил. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 384 с.

4. Теплопроводность твердых тел: справ. / А.С. Охотин, Р.П. Боровикова, Т.В. Не-чаева, А.С. Пушкарский; под ред. А.С. Охотина. М.: Энергоатомиздат, 1984. 320 с.
5. Теплотехника: учеб. для вузов / А.П. Баскаков [и др.]. 2 изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1991. 224 с.
6. *Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А.* Тепломассообмен: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство МЭИ, 2005. 550 с.

Поступила 23.01.12

*A.N. Galashev, M.A. Khviyuzov*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Time Calculation of Circular Saw Cooling at Idle Speed**

The problem of saw blade cooling under idling is considered; calculation of time for temperature drop change depending on the heat transfer coefficient is proposed.

*Key words:* circular saw, temperature drop, cooling time, heat transfer coefficient, pyrometer, mathematical model.



УДК 674.093

**Р.Е. Калитеевский, А.М. Артеменков**

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Калитеевский Ростислав Евгеньевич родился в 1924 г., окончил Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, член-корреспондент МАН ВШ, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 150 печатных работ в области технологии, оборудования и систем управления в лесопилении. Тел.: (812) 656-60-34



Артеменков Алексей Михайлович родился в 1977 г., окончил в 2000 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии лесопиления и сушки древесины СПбГЛТА. Имеет более 30 печатных работ в области планирования и организации технологических процессов в лесопилении, изучения процессов тепловой обработки и сушки древесины. E-mail: a-artemenkov@mail.ru



## **СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ПОЛЯ ЛЕСОПИЛЕНИЯ\***

Раскрыто понятие профессионального поля лесопиления и приведены положения его структурно-динамического анализа. Выявлены основные объекты профессионального поля лесопиления и введены их описательные характеристики.

*Ключевые слова:* лесопиление, профессиональное поле, структурно-динамический анализ, ситуация в профессиональном поле, инновационный цикл, инновационные технологии, информационные технологии.

Философия – это искусство ставить вопросы, на которые отвечают наука, практика, иногда религия или вера в авторитет, как ей замена. Философия любой профессии гораздо больше, чем просто наука, описывающая профессию. Способность философски осмыслить профессию – это способность быть чувствительным к профессии как к явлению, полю явлений и видеть одновременно все области профессионального поля. Философия лесопиления опирается на методологию и культуру профессионального мышления, структурно-динамический анализ профессионального поля.

Целое определяется не суммой его частей, а их взаимосвязью в единстве пространства и времени. Поле в структурно-динамическом анализе – это соотношение и взаимосвязь явлений, процессов, отдельных областей исследования, фактов или объектов. Это утверждение относится к любому полю: физическому, информационному и др. Таким образом, поле любой профес-

---

\* Статья написана при научном консультировании кандидата психологических наук Е.Р. Калитеевской.



сии, или профессиональное поле, можно рассматривать через соотношение и взаимосвязь всех явлений и процессов, которые происходят в поле данной профессии в данный актуальный момент. При анализе такие модели взаимосвязи теоретических основ, методологий образования, практики внедрения экспериментальных исследований и использования технологических методов можно рисовать на листе бумаги, и тогда появится возможность увидеть «пустые пятна» или «слепые» зоны, которые нуждаются в определении и развитии (понятие поля опирается на теорию поля Курта Левина, созданную в начале XX в. на основе смены аристотелевского способа мышления на галилеевский, т. е. от линейной причинности через взаимосвязь объектов целого к пониманию сути явления) [3].

Анализ профессионального поля или соотношений и взаимосвязей объектов профессионального поля с целым позволяет выявить объекты, о взаимосвязи которых с остальными объектами профессионального поля и с полем как целым ничего неизвестно, а также создать номенклатуру этих объектов в целях углубленного изучения их роли и взаимосвязи с другими объектами поля. Таким образом, если становится понятен способ взаимосвязи объектов с полем профессии, то имеется возможность выстроить динамическую структуру профессионального поля, т. е. понимать структуру как процесс ее функционирования.

Экспертам интересна именно взаимосвязь объектов. Отдельно сами по себе структурные элементы профессионального поля, будь то научная школа, теория, методика образования или исследовательские программы и тому подобное, не определяют профессиональное поле. Профессиональное поле, по аналогии с другими полями, существует в результате разницы потенциалов между объектами поля, в качестве которых могут выступать различные теоретические взгляды, различные научные школы и др. Если нет разницы потенциалов между разными теоретическими взглядами, если практика не связана с теорией, если образование не подтверждает теорию и никак с ней не связано, если области знания внутри самой теории не имеют опоры, преемственности, т. е. не образуют направления, то в профессиональном поле становится невозможен диалог, как способность выдерживать несогласие. Именно диалог научных школ в профессиональном пространстве дает направление развития различных областей профессионального поля. Для его развития крайне важно, чтобы в нем существовало какое-то количество научных школ с открытым информационным пространством для возможности обмена информацией, гипотезами, фактами в целях проявления противоречий, выявления неизученных областей, проверки фактов и гипотез теорией и самой теории новыми фактами.

Задача не следует из теории, а выводится именно из связи теории с другими областями профессионального поля. Когда планируется конкретное исследование, прежде всего необходимо понять, как оно соотносится с «глобальным» целым – полем профессии. Таким образом, развитие профессио-

нальных областей зависит от того, насколько исследователь чувствителен к актуальным силовым линиям поля, к тому напряжению профессионального поля, которое неизбежно выдвигает актуальные вопросы – вопросы, которые уже нельзя не решать.

Теория поля профессии описывает и культуру профессионального мышления, основой которого является стратегическое видение, определяющее развитие личности в профессиональном поле. Способность ставить вопросы в профессиональном поле базируется на способности человека быть чувствительным к профессии как к явлению или к полю явлений и видеть одновременно все области профессионального поля и то, каким образом разные области связаны между собой, т. е. философски осмысливать профессию. Эти области, развиваясь относительно независимо, периодически смыкаются, перепроверяют друг друга, и отвечают на такие вопросы, как соответствуют ли факты существующей теории и если какие-либо противоречат ей, то стоит ли их подгонять под теорию или уже она сама должна быть пересмотрена. Непременным условием дальнейшего развития любого профессионального поля является понимание его структуры как процесса, т. е. через взаимосвязь всех структурных элементов этого поля.

В науке можно выделить два больших этапа познания окружающего мира: с акцентом на анализ структуры объектов окружающего мира и с акцентом на процессы, происходящие в объектах или с участием объектов, и их динамику в окружающем мире. Опора на теорию поля в философском понимании профессионального поля лесопиления, т. е. на инновационные процессы в лесопилении, предполагает не отказ от имеющихся теорий, а отказ от статики. Это означает, что мы имеем дело с оценкой сущности каждой структурной составляющей профессионального поля (таких как сырье, оборудование, продукция, образование и т.д.) через понимание взаимосвязи, точнее механизма взаимосвязи этих явлений, фактов, процессов с целостной картиной профессионального поля лесопиления (или просто профессии) в данный момент. Таким образом, мы приходим к необходимости структурно-динамического анализа профессионального поля лесопиления.

Структурно-динамический анализ включает в себя анализ составляющих профессиональное поле структур в их собственном развитии, анализ связей между ними, оценку целостной картины и анализ механизма взаимосвязи каждой структуры или части с целым полем профессии.

При этом этапы процесса предполагают оценку ресурсов, проектирование, образование и исследование, внедрение, выводы. В целом структурно-динамический анализ профессионального поля лесопиления опирается на феноменологический анализ – изучение и описание явлений, объектов, процессов профессионального поля.

Основные задачи современного лесопиления – разработка и внедрение информационных технологий на всех стадиях производства, начиная с оценки ресурса, заказа пилопродукции и оперативного планирования раскроя пило-

вочника при условии наиболее эффективного выполнения заказа и кончая отгрузкой пилопродукции; разработка и внедрение специальных технологических прикладных программ и баз данных; совершенствование систем измерения и автоматизированных сухопутных линий сортировки в целях повышения точности определения объемов бревен, поступающих на лесопильное предприятие; систематическое повышение конкурентоспособности пилопродукции и осуществление глубокой переработки древесины с выпуском конструкционных строганных и клееных пиломатериалов, заготовок и др. пилопродукции.

Под информационными технологиями понимается совокупность знаний о компьютерах со специальным программным обеспечением, способах и средствах проведения производственных процессов. В основе информационных технологий лесопиления лежит получение и обработка необходимых потоков информации требуемого качества для оптимального и наиболее эффективного производства пиломатериалов.

Структура информационных технологий процессов и производств лесопиления включает: состав оборудования, связи между ним и процессы их расчетов, оптимизации, имитации и управления. На сегодняшний день можно выделить следующие информационные технологии лесопиления:

- имеющихся ресурсов в широком смысле;
- окорки хлыстов и бревен;
- раскроя хлыстов;
- раскроя бревен на пилопродукцию с учетом качества древесины;
- сортировки и окончательной обработки пиломатериалов после сушки;
- процессов реализации и ее оценки.

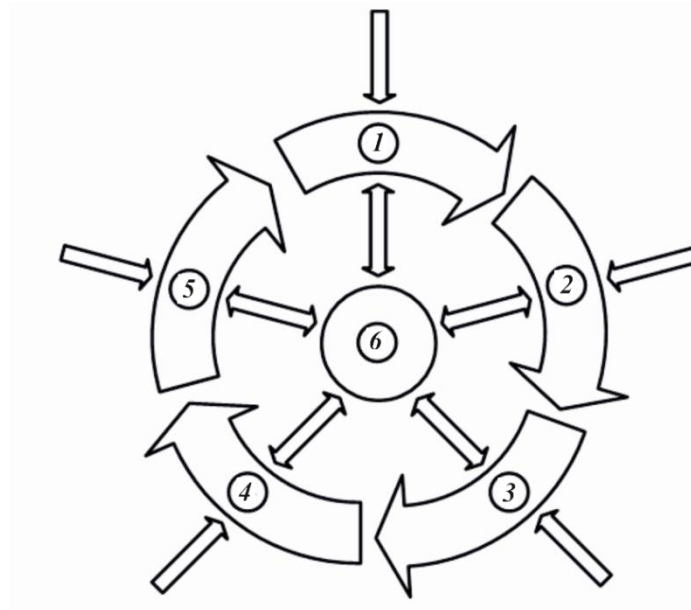
Сюда же включены информационные технологии производства пиломатериалов, пиленых заготовок, конструкционных пиломатериалов, а также информационные технологии сушки пилопродукции, которые структурно входят в производство пилопродукции, но могут иметь и самостоятельное значение.

Объектами профессионального поля лесопиления являются сырье, точность измерения объема сырья, пилопродукции, сертификация сырья и пилопродукции, оборудование, информационные технологии, проектирование, образование и др. Кроме того, необходимо учитывать связь вышеперечисленных объектов с экологией и конкурентоспособностью на рынке. Без структурно-динамического анализа поля лесопиления нельзя предусмотреть многие нюансы производства и даже можно допустить крупнейшие просчеты при проектировании. Например, неточность измерения объемов бревен может приводить к ошибкам (до 10...15 %), хотя экономия сырья позволяет окупить современное оборудование и системы в сравнительно короткие сроки. Применение современных сканирующих устройств и систем для сбора информации о каждом бревне и ее обработки с помощью специализированной компьютерной программы, а также систем гибкого базирования поставка пил, оснащенных сканирующими датчиками и включенных в контур системы управления для распиловки бревен, брусьев и обрезки необрезных досок, позволяет на 6 %

и более увеличить объемный выход пиломатериалов из бревен неправильной формы, составляющих примерно 30 % от всех поступающих в распиловку. Отсутствие учета соответствия типа оборудования и условий раскроя бревен данным о размерах и особенностях их формы также приводит к снижению не только количественных и качественных показателей лесопиления, но и эффективности работы не только самого оборудования, но и производства в целом.

Таким образом, развитие современного лесопиления возможно в условиях создания, внедрения и развития инновационных технологий, т. е. совокупности методов и средств, направленных на обеспечение всех этапов реализации нововведений. Инновационные технологии современного профессионального поля строятся на принципах реализма в опоре на феноменологию и во взаимосвязи образуют инновационный цикл развития как науки, так и производства. Но инновационный цикл развития так бы и оставался циклом в своей замкнутости и противоречил самому понятию развития, если бы каждый его этап постоянно не обновлялся, не подпитывался из других профессиональных полей, т. е. если бы не существовало разницы потенциалов между профессиональными полями еще и на стадиях инновационного цикла.

Схематично инновационный цикл развития науки и производства представлен на рисунке.



Инновационный цикл развития науки и производства в современном профессиональном поле: 1 – феномены; 2 – гипотезы; 3 – теории; 4 – образование; 5 – внедрение в производство; 6 – наука и производство

На первом уровне явления, факты или феномены просто подмечаются, накапливаются и описываются, но никак не объясняются. Причем база данных феноменов постоянно обновляется, и каждый феномен проходит проверку на соответствие данному полю профессии. На втором уровне выдвигаются гипотезы, объясняющие явления, факты, феномены, а также проводится их проверка на соответствие данному полю профессии, которое характеризуется фактами и явлениями, уже проверенными временем, практикой, экспериментом, на основе которых созданы теории, способные предсказывать различные ситуации в профессиональном поле. Здесь под ситуацией понимается отдельное поле, организованное человеком в поле данной профессии. Естественно, таких ситуаций может быть великое множество в зависимости от количества исследователей, научных школ и людей, осуществляющих свою деятельность в конкретном профессиональном поле. На третьем этапе происходит обновление существующих или создание новых теорий с их последующей проверкой, на четвертом – постоянное обучение членов профессионального поля, которое может быть осуществлено за счет простой передачи знаний о поле профессии или обучения через «открытие», что является основой инновационной педагогики, предполагающей как критический анализ вновь поступающих фактов и явлений по отношению к базовым знаниям, так и базовых знаний в свете новых феноменов и пересмотра существующих теорий. Если феномены, т. е. явления, объекты, процессы, факты вдруг противоречат теории, то, возможно, следует пересмотреть теорию, тем самым обновляя и развивая ее. Таким образом, мы отказываемся не от самой теории, как кажется на первый взгляд, а от статики, которая не способствует развитию теории, а так как целое не является суммой составных частей, то в итоге изменение одного элемента неизбежно ведет к изменению системы в целом. На пятом этапе происходит внедрение созданных теорий в науку и производство, в результате которого опять получают новые факты, явления, процессы или феномены. Таким образом, в инновационном цикле развития науки и производства обновление, происходящее на каждом этапе цикла, неизбежно переводит науку и производство в разряд передовых, основанных на последних достижениях в данном профессиональном поле.

Из выше перечисленных объектов профессионального поля лесопиления основными являются сырье, пилопродукция и оборудование. Связующее звено основных объектов в профессиональном поле лесопиления – исчерпывающая информация об этих объектах, необходимая и достаточная для создания рациональных технологических процессов, обеспечивающих достижение определенной цели – получение максимальных объемов высококачественной пилопродукции в заданные сроки при минимальных затратах сырьевых и других ресурсов. Характеристики сырья и пилопродукции как объектов при определенных условиях оказывают влияние на состав и определение характеристик технологического оборудования, комплексный анализ всех трех объектов в их взаимосвязи позволяет создавать соответствующие технологии переработки сырья в пилопродукцию.

Введем описательные характеристики указанных объектов, т. е. проведем феноменологический анализ.

*Сырьем* на лесопильных предприятиях являются хлысты и пиловочные бревна. Раньше предприятия получали пиловочник от конкретных производителей практически без предварительной сортировки по вершинным диаметрам, поэтому в европейской части страны при среднем диаметре 18...20 см поступали бревна диаметром от 10...12 до 50...60 см. Сортировка бревен под определенные поставки проводилась в бассейнах, при этом даже на лесозэкспортных предприятиях число сортировочных групп не превышало 8 – 12. Подавляющее большинство предприятий распиливали одним поставом с дополнительными пилами до 4 – 6 четных диаметров бревен, снижая при этом объемный и качественный выход пиломатериалов. Данный метод сортировки пиловочника был распространен в связи с тем, что в России использовались, как правило, среднепросветные двухэтажные лесопильные рамы 2РД75, что было характерно для 2-, 4- и 8-рамных лесопильных предприятий.

Интенсивное развитие ЦБП привело к появлению дополнительной продукции лесопиления – технологической щепы, в результате для распиловки тонкомерных бревен были созданы фрезерно-круглопильные станки, на которых вырабатываются не только пиломатериалы, но и технологическая щепа. Внедрение нового оборудования потребовало коренной модернизации складов и процессов подготовки пиловочного сырья к обработке. Без этого оборудования производительность предприятий уменьшалась на десятки процентов, так как концентрация тонкомерного сырья на фрезерно-круглопильном оборудовании, распиливающим до 4...6 бревен в минуту, приводила к неравномерной загрузке среднепросветных лесопильных рам. Потребовалось установить окорочные станки перед бассейнами. Проекты Гипродрева предполагали наличие окорочных станков непосредственно в лесопильном цехе перед рамами первого ряда. При этом на каждом 2-рамном лесопильном потоке устанавливали по 2 окорочных станка ввиду их низкой надежности. Развитие лесопиления в восточных районах страны, где средний диаметр бревен доходил до 30 см и более, привело к использованию там широкопросветных лесопильных рам РД110 с просветом 1100 мм. В этих районах, а также для распиловки бревен лиственных пород (дуб, бук) наиболее целесообразно было использовать ленточнопильные станки индивидуального раскроя. Однако они не нашли широкого применения. Анализ работы лесопильного оборудования в прошлом веке показал, что отечественное лесопиление было только на 50 % обеспечено необходимым типом оборудования.

Наряду с пиловочными бревнами на некоторые лесопильные заводы поступают хлысты. Практика показала, что одновременное использование бревен и хлыстов в качестве пиловочного сырья приводит к резкому усложнению операций подготовки сырья к обработке. В этом случае требуется иметь оборудование не только для сортировки бревен, но и для раскроя хлыстов, подобное тому, которое есть в леспромхозах. Наши исследования [1, с. 362],

а также исследования канадских и немецких фирм показывают, что хлысты на лесопильных предприятиях наиболее целесообразно раскраивать вариационным методом (по критерию максимального выхода пиловочных бревен), сортировку пиловочника также осуществлять на основе этой информации, что позволяет увеличить выход пиломатериалов в среднем на 5...6, а иногда и на 8 %. В нашей стране указанный метод не нашел применения.

В настоящее время современные автоматизированные лесопильные предприятия специализированы по размеру и качеству пиловочного сырья. Производительность труда на этих предприятиях в 10–15 раз выше, чем на лесопильных заводах с 2-этажными лесопильными рамами. В качестве бревнопильного оборудования на них используются автоматизированные линии с фрезерно-круглопильными и фрезерно-ленточнопильными станками со скоростью подачи до 120...150 м/мин и более. Для подготовки пиловочника к обработке и окончательной обработки сухих пиломатериалов, как правило, используется модульное оборудование. Если раньше учет поступающего сырья производили по данным опытной сортировки типовых партий бревен и по этим данным определяли объем поступающего сырья, что приводило к ошибкам (до 10...15 %), то на современных заводах для сортировки бревен используют автоматизированные линии, позволяющие вести достоверный учет всех параметров сырья. Плата за сырье также осуществляется по данным компьютерного учета.

*Продукцией* лесопиления являются кондиционные и конструкционные пиломатериалы, заготовки, технологическая щепа, опилки и древесная мука (древесная пыль). Конструкционные пиломатериалы, т. е. пиломатериалы с известными, а следовательно, с гарантированными механическими свойствами, по существу, являются заготовками с заданными или кратными длинами. Такие пиломатериалы эффективно используются в клееных несущих конструкциях, автомобилестроении, сельскохозяйственном машиностроении, строительстве и других отраслях промышленности, позволяют уменьшить объем используемой древесины на 15 % и более.

Большие теоретические исследования в области конструкционных пиломатериалов были проведены проф. В.В. Огурцовым, однако в нашей стране их производство широкого развития не получило. Парадокс кроется в том, что хотя проведенные исследования и подтверждают экономическую эффективность и целесообразность производства конструкционных пиломатериалов, но в производство результаты исследований не внедряются.

Производство конструкционных пиломатериалов тесно связано с сырьем, из которого их производят. При общем снижении качества поступающего на предприятия сырья снижается и качество производимых пиломатериалов при условии, что сортировка их производится по видимым порокам и дефектам в соответствии с действующей нормативной документацией. Силовая же сортировка пиломатериалов (только по механическим характеристикам) позволяет использовать в ответственных строительных конструкциях даже

пиломатериалы низких сортов. Прослеживается взаимосвязь характеристик как конструкционных, так и кондиционных пиломатериалов со свойствами исходного сырья. Для производства конструкционных пиломатериалов требуются специализированное оборудование и технология в совокупности с информационными технологиями, позволяющими осуществлять силовую сортировку пиломатериалов. Для обеспечения информационной поддержки таких технологий открывается новая область исследований, направленных на изучение возможности прогнозирования механических свойств пиломатериалов еще до распиловки исходного сырья. Такого рода информация позволяет поновому осуществлять сортировку и последующую распиловку сырья. В настоящее время в нашей стране выпиливается примерно 20...25 млн м<sup>3</sup> кондиционных пиломатериалов, хотя только на экспорт поставляется свыше 40 млн м<sup>3</sup> бревен, которые, как и технологическая щепка, не являются продуктами глубокой переработки древесины. Общий объем экспортной пилопродукции может быть увеличен в несколько раз, при этом ее стоимость может составить до 100 млрд долларов США в год, что сопоставимо со стоимостью экспортных поставок нефти и газа. Существенной экономии древесины можно добиться повышением точности учета выпиленной пилопродукции. До недавнего времени учет производства пиломатериалов на конкретном предприятии практически определялся только к концу квартала или года. В настоящее время системы маркетинга позволяют учитывать выход пиломатериалов в каждую смену, т. е. проводить контроль в режиме реального времени. Внедрение и использование таких систем минимизирует перерасход древесины на выполнение задания на распиловку, позволяет своевременно реагировать на изменение качества пилопродукции и осуществлять гибкое планирование производства и отгрузки пилопродукции заданного объема в заданные сроки.

Следующим объектом профессионального поля лесопиления является *лесопильное оборудование*. Современное оборудование лесопильного производства подразделяется на три типа [1, с. 131]: многопильное оборудование проходного типа групповой распиловки (переработки) бревен на пиломатериалы; оборудование позиционно-проходного типа индивидуальной распиловки с возвратно-поступательным движением бревен и брусьев при раскрое; оборудование позиционного типа индивидуальной распиловки с возвратно-поступательным движением пильных механизмов. От компоновки различных типов оборудования в лесопильных потоках зависят их производительность и методики ее расчета. В соответствии с различной производительностью потоков лесопильные предприятия подразделяют на крупные (мощность более 250...300 тыс. м<sup>3</sup> перерабатываемых бревен в год при работе в две смены), средние (от 80...100 до 200...250 тыс. м<sup>3</sup>) и малые предприятия (от 5...10 до 60...80 тыс. м<sup>3</sup>) [1, с. 13]. На крупных и средних лесопильных предприятиях в основном используется бревноперерабатывающее многопильное оборудование проходного типа. Исключение составляют однопильные вертикальные ленточнопильные станки позиционно-проходного типа для распиловки круп-



номерных бревен со сконцентрированными пороками. Для переработки тонкомерных бревен применяются фрезерно-брусующие и фрезерно-профилирующие станки. В последние годы на базе оборудования иностранных фирм и с их участием созданы средние лесопильные предприятия с гибкими поставками и рециркуляцией брусьев. На малых лесопильных и лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях используются однопильные круглопильные и ленточнопильные станки позиционно-проходного и позиционного типов. Линии окончательной обработки сухих пиломатериалов на крупных предприятиях устанавливают только для окончательной торцовки и сортировки сухих пиломатериалов по сортам и длинам, на средних предприятиях такие линии устанавливаются непосредственно за лесопильными цехами и на них осуществляется по скользящему графику работы также выборочная торцовка и сортировка сырых досок по сечениям. Таким образом, объем производства предопределяет не только вид и тип используемого головного оборудования лесопильных цехов, но и вид и тип оборудования для обработки и сортировки сырых и сухих пиломатериалов [1, с. 13–14].

В мировой практике лесопиления широко распространено оборудование из функциональных модулей. Это касается практически всех типов оборудования лесопильного производства: для переработки пиловочника, подготовки его к обработке, сушки и окончательной обработки сухих пиломатериалов. Создание оборудования из унифицированных модулей с соответствующими присоединительными и габаритными размерами позволяет не только увеличить серийность механизмов, но и решить следующие задачи: значительно повысить технический уровень лесопильного производства, качество, надежность и долговечность оборудования; в несколько раз ускорить оснащение лесопильного производства новой техникой и сократить сроки компоновки оборудования; постоянно совершенствовать оборудование благодаря сквозному использованию единых габаритных и присоединительных размеров механизмов по всей системе, обладающих высокой степенью обратимости. Модульный принцип может и должен быть использован также и при создании линий для сортировки пиловочника, окорочного оборудования и его участков, бревнопильного оборудования на базе ленточнопильных, круглопильных и фрезернопильных модулей, гибких ориентирующих устройств при распиловке бревен, брусьев и обрезки необрезных досок. При создании модульных линий необходимо одновременно разрабатывать оптимизационные программы, работающие в контуре систем управления агрегатированных линий и специальных технологических программ для компьютеров, без чего практически невозможна рациональная технология производства. В странах с развитым лесопилением такое оборудование широко распространено и сегодня. Однако разработка модульного оборудования в России не получила должного развития, хотя первые работы в этой области были проведены еще в 60–70-х гг. XX в. [2].

Основной задачей, стоящей перед современной лесопильной промышленностью России, является выход на новый качественный уровень в разра-

ботке и использовании современных станков и оборудования в соответствии с нормами экологического права. Наиболее рациональным является создание в России заводов по производству современного высокопроизводительного оборудования на базе технологий лучших фирм мира в режиме промышленной сборки, аналогично российским производствам по сборке автомобилей Ford, Toyota и тому подобных, с постепенным переводом и созданием такого оборудования на отечественных предприятиях. По такому пути развития уже пошла компания «John Deere Forestry» – мировой лидер в области производства специальной техники для лесопромышленного комплекса, сельского хозяйства и дорожного строительства [4, 5].

Перечисленные выше основные объекты профессионального поля лесопиления (сырье, пилопродукция, оборудование) не только выступают в роли «трех китов», на которых держится это профессиональное поле, но и являются его неотъемлемыми структурными составляющими, участвующими в общем инновационном цикле развития. Дальнейшее развитие лесопильной промышленности России возможно только на базе инновационных технологий, что позволяет проектировать новые предприятия, производительность труда на которых должна быть в 10–15 раз больше, чем на предприятиях с двухэтажными лесопильными рамами. Раскрой бревен должен осуществляться с учетом их кривизны, качества и др. (количества, размеров и характера сучков, особенностей формы ствола и качества древесины).

Проектирование новых предприятий с учетом последних достижений мировой науки и техники, требований качества пилопродукции, предъявляемых иностранными потребителями, позволит выпускать высококачественную пилопродукцию не только для внутреннего рынка, но и на экспорт.

В связи с мировым ростом потребления бумажной продукции необходимо не только модернизировать существующие целлюлозно-бумажные комбинаты, но и проектировать новые, чему способствуют значительные запасы леса в России (порядка 80,5 млрд м<sup>3</sup>) и одна из самых низких себестоимостей продукции ЦБП. Целлюлозно-бумажные комбинаты по сути являются «локомотивами» лесопромышленного комплекса и способны не только вывести лесопильно-деревообрабатывающую промышленность на новый уровень хозяйствования, но и оживить экономику и поднять социальный уровень богатых лесом регионов России. В целом по России это позволит увеличить уровень использования древесины, который ниже, чем в скандинавских странах с развитым лесопромышленным комплексом, где он достигает 80...90 %. Создание целлюлозно-бумажных предприятий способствует развитию лесопиления в России, так как обеспечивает рациональное использование, так называемых «отходов» лесопиления, которые составляют до 40 % и более в общем балансе раскроя бревен на пиломатериалы.

Эффективное проектирование новых целлюлозно-бумажных и лесопильно-деревообрабатывающих предприятий в условиях глобализации экономики возможно только с использованием систем автоматизированного проектирования

и компьютерного моделирования, что неизбежно потребует подготовки высококвалифицированных кадров с обязательной стажировкой в ведущих мировых фирмах. В учебные программы подготовки специалистов с высшим образованием должны быть включены не только основы технологии лесопильно-деревообрабатывающих производств, но и организационно-технологические основы инновационных процессов в лесопилении и деревопереработке, информационные технологии в лесопилении, а также основы структурно-динамического анализа профессионального поля лесопиления. В программах должны быть освещены как теоретические, так и практические проблемы современного лесопиления. По этим учебным программам должны проводиться семинары, мастер-классы и другие виды занятий, включающие философский и методологический анализы проблем лесопиления и деревопереработки, с участием ведущих топ-менеджеров, конструкторов и инженеров мировых фирм по производству лесопильно-деревообрабатывающего оборудования, а также директоров и управляющих современных лесопильно-деревообрабатывающих предприятий России и др. стран.

Россия обладает  $\frac{1}{4}$  лесных запасов мира (до 80,5 млрд м<sup>3</sup> древесины). В 70-х годах прошлого столетия в СССР выпиливалось порядка 80...100 млн м<sup>3</sup> пиломатериалов в год, в настоящее время мы производим 20...25 млн м<sup>3</sup> пиломатериалов в год, т. е. в 4 раза меньше. Однако по экспорту бревен, ежегодный объем которого составляет более 40 млн м<sup>3</sup>, Россия занимает первое место в мире. Проведенный анализ показывает, что в России должно производиться не менее 80...100 млн м<sup>3</sup> пиломатериалов в год. Например, США, обладающие значительно меньшими запасами древесины, выпиливают более 100 млн м<sup>3</sup> пиломатериалов в год. Попытки увеличить выпуск пиломатериалов в России и уменьшить экспорт бревен путем увеличения таможенных пошлин не дали результатов. При этом уровень выпуска пиломатериалов практически не увеличился, а страна потеряла некоторые рынки сбыта бревен.

Выходом из создавшегося положения является организация производства пиломатериалов в России на базе инновационных технологий, обеспечивающих высокий уровень конкурентоспособности пилопродукции. Создание инновационных технологий, процессов и оборудования может быть осуществлено за счет создания акционерных обществ, обеспечивающих выпуск инновационных процессов и продуктов. Следует учитывать, что создание инновационных процессов, оборудования и технологий может быть обеспечено только при глубокой модернизации. Иными словами, в этих акционерных обществах должно быть сосредоточено модульное оборудование лучших фирм мира. На базе этих обществ возможно создание учебных центров для подготовки необходимых высококвалифицированных кадров российских рабочих. Кроме того, эти акционерные общества должны иметь большое количество малых предприятий по выпуску модульного оборудования и его комплектующих. Заметим, что авиационная фирма, выпускающая самолеты Boeing,

имеет около 40 тыс. малых предприятий по всему миру. По нашему мнению, в России должно быть создано два акционерных общества: одно для европейской части России и Урала, другое – для Сибири и Дальнего Востока. При них должны действовать проектные организации, обеспечивающие создание программного обеспечения и обслуживание как вновь проектируемых, так и действующих лесопильных предприятий. В эти акционерные общества могут входить предприятия, организованные по типу сборочных цехов автопрома, действующих в России.

Кроме того, эти общества могут также обеспечивать сервисное обслуживание оборудования на новых лесопильных предприятиях, так как зачастую эффект от этого бывает больше, чем от его продажи. Высокий уровень производительности труда на новых лесопильных предприятиях особенно важен для условий Сибири, где уменьшение числа работающих, например, в 10 раз, почти во столько же раз снижает затраты на жилые помещения и др. Следует учитывать, что примерно 80 % древесины России находится в Сибири.

Необходимо иметь в виду, что сегодня произошла глобализация техники. В современной России практически отсутствуют серьезные станкостроительные предприятия, обеспечивающие выпуск необходимого лесопильного оборудования. В настоящее время некоторые российские фирмы закупают импортное оборудование, проектирование и производство которого состоялось десятки лет назад.

Создание указанных акционерных обществ с постепенным развитием отечественного станкостроения необходимо начинать немедленно, так как запасов углеводородных источников энергии может хватить только на несколько десятков лет, тогда как древесный материал является возобновляемым, т. е. вечным источником сырья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калитеевский Р.Е.* Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент. СПб.: Профи-Информ, 2005. 480 с.
2. *Калитеевский Р.Е.* Проектирование лесопильных потоков. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 184 с.
3. *Левин К.* Динамическая психология. М.: Смысл, 2001. 572 с.
4. John Deere локализует производство в России // Леспромформ. 2009. № 5 (63). С. 17.
5. John Deere начал выпуск форвардеров в Домодедово // Леспромформ. 2011. № 2 (76). С. 8.

Поступила 23.11.11

*R.E. Kaliteevsky, A.M. Artemenkov*

St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

**Structural Dynamic Analysis of Professional Field of Sawmilling**

The article dwells on the notion of professional field of sawmilling and presents main statements of its structural dynamic analysis. Key objects of the professional field of sawmilling are identified; their descriptions are introduced.

*Key words:* sawmilling, professional field, structural dynamic analysis, situation in the professional field, innovation cycle, innovative technologies, information technologies.

---

УДК 674.093

*М.А. Корельская, А.М. Копейкин*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Корельская Марина Андреевна окончила в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 5 печатных работ в области совершенствования методов раскря пиловочного сырья.  
E-mail: m.korelskaya@narfu.ru



Копейкин Адольф Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заслуженный работник лесной промышленности. Имеет более 100 научных трудов в области прогнозирования развития отрасли и технологий, технологических процессов лесопиления и деревообработки, комплексного использования древесины.  
E-mail: a.kopeikin@narfu.ru



## **О КОРРЕКТНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЛОВОЧНЫХ БРЕВЕН**

Предложен новый подход к сортировке пиловочного сырья по диаметрам. Рассмотрен вопрос о корректности расчета средних характеристик пиловочных бревен.

*Ключевые слова:* средний объем, средняя длина, средний диаметр.

Размерно-качественным характеристикам сырья отводится ведущая роль в процессе планирования деятельности лесопильных предприятий. Общее количество сырья, поступающего на лесозаводы, с делением по размерам, сортам и породам определяет спецификацию сырья, которая дополняется рядом обобщенных (средних) показателей: диаметром, длиной и объемом бревен.

Особенно важен средний диаметр  $d_{\text{ср}}$  бревен, поскольку по этому показателю можно прогнозировать среднюю скорость распиловки на головных станках, влияющую на производительность потока, а также судить о средней ширине пиломатериалов, которые могут быть получены при раскряе. Средняя длина  $l_{\text{ср}}$  пиловочных бревен является основным показателем для определения средней длины вырабатываемых пиломатериалов, а средний объем бревен используется при расчетах производительности механизмов на складе сырья, а также погрузочных и разгрузочных работ.

Средний объем бревна ( $Q_{\text{ср}}$ , м<sup>3</sup>) определяют делением суммы объемов всех бревен на их количество:

---

© Корельская М.А., Копейкин А.М., 2013

$$Q_{\text{cp}} = \frac{q_1 n_1 + q_2 n_2 + \dots + q_n n_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} = \frac{\sum q_k n_k}{\sum n_k},$$

где  $q_{1\dots n}$  – объемы бревен, имеющих размеры  $d_{1\dots n}$  и  $l_{1\dots n}$ .

Два других показателя величины могут быть определены лишь приближенно. Наиболее распространенным способом является вычисление средних объема и длины, а затем нахождение среднего диаметра по таблицам объемов [1–3].

Средняя длина бревен ( $l_{\text{cp}}$ , м) определяется как средневзвешенная по количеству бревен:

$$l_{\text{cp}} = \frac{l_1 n_1 + l_2 n_2 + \dots + l_n n_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} = \frac{\sum l_k n_k}{\sum n_k}.$$

Вместе с тем средний диаметр бревен ( $d_{\text{cp}}$ , см) можно вычислить как среднеквадратическую величину по количеству бревен:

$$d_{\text{cp}} = \sqrt{\frac{d_1^2 n_1 + d_2^2 n_2 + \dots + d_n^2 n_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n}} = \sqrt{\frac{\sum d_k^2 n_k}{\sum n_k}}.$$

Исследования проводили в реальных условиях работы одного из крупных лесопильных предприятий г. Архангельска. Выборка хронологий подачи сырья с линии сухопутной сортировки бревен была сделана за последние 5 лет. По ГОСТ 9463–88 [2] пиловочником хвойным общего назначения считаются бревна от 14 см, поэтому в исследование включали бревна от 14 до 32 см. В общей сложности учтено 22 232 бревна.

Целью исследования стала проверка гипотезы нормального распределения бревен по диаметрам, а также определение ведущих длин бревен в каждом диапазоне диаметров.

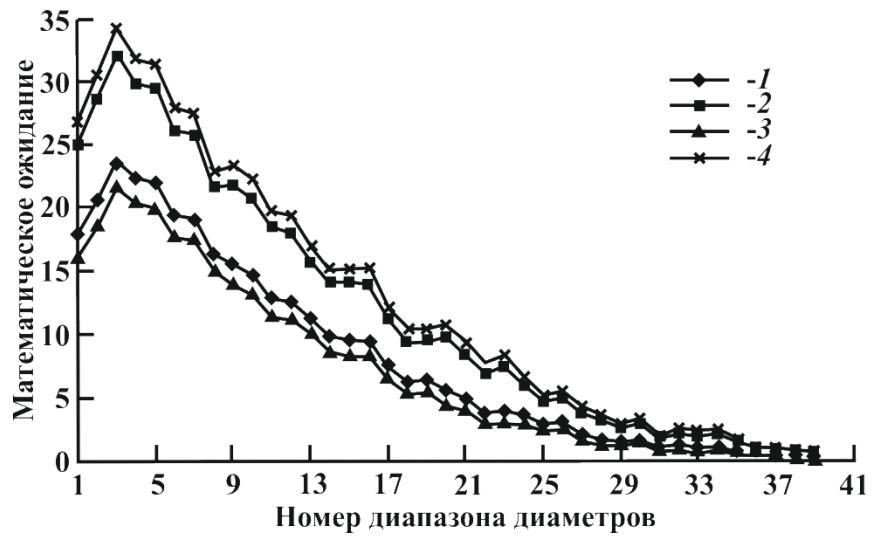
Согласно ранее проведенным исследованиям распределение бревен по диаметрам тяготеет к закону нормального распределения, т. е. если известно некоторое среднее  $X_{\text{cp}}$  исследуемого диапазона диаметров и стандартное отклонение  $s$  (ошибка среднего), то кривая нормального распределения полностью задана. Кроме того, считается, что любой диаметр с вероятностью 68,0 % попадет в диапазон роста  $X_{\text{cp}} \pm s$ , с вероятностью 95,0 % – в диапазон  $X_{\text{cp}} \pm 2s$ , и с вероятностью 99,7 % – в диапазон  $X_{\text{cp}} \pm 3s$ .

Чтобы проследить, как полученная зависимость подчиняется закону гауссовского распределения, было предложено изменить условия сортировки, увеличив ее дробность (вместо стандартной через 2,0 см сделать ее через 0,5 см). Так, диапазон бревен для диаметра 14,0 см при стандартной сортировке по четным диаметрам включает в себя бревна диаметром 13,5...14,9 см, а по новым условиям сортировки данный диапазон разбивается на три: 13,5...13,9 см, 14,0...14,4 см, 14,5...14,9 см (см. таблицу).

Диапазоны диаметров при сортировке по новым группам диаметров

| Номер диапазона | Диапазон диаметров, см | $d$ , см | Номер диапазона | Диапазон диаметров, см | $d$ , см |
|-----------------|------------------------|----------|-----------------|------------------------|----------|
| 1               | 13,5...13,9            | 14       | 20              | 23,0...23,4            | 24       |
| 2               | 14,0...14,4            |          | 21              | 23,5...23,9            |          |
| 3               | 14,5...14,9            |          | 22              | 24,0...24,4            |          |
| 4               | 15,0...15,4            |          | 23              | 24,5...24,9            |          |
| 5               | 15,5...15,9            | 16       | 24              | 25,0...25,4            | 26       |
| 6               | 16,0...16,4            |          | 25              | 25,5...25,9            |          |
| 7               | 16,5...16,9            |          | 26              | 26,0...26,4            |          |
| 8               | 17,0...17,4            |          | 27              | 26,5...26,9            |          |
| 9               | 17,5...17,9            | 18       | 28              | 27,0...27,4            | 28       |
| 10              | 18,0...18,4            |          | 29              | 27,5...27,9            |          |
| 11              | 18,5...18,9            |          | 30              | 28,0...28,4            |          |
| 12              | 19,0...19,4            |          | 31              | 28,5...28,9            |          |
| 13              | 19,5...19,9            | 20       | 32              | 29,0...29,4            | 30       |
| 14              | 20,0...20,4            |          | 33              | 29,5...29,9            |          |
| 15              | 20,5...20,9            |          | 34              | 30,0...30,4            |          |
| 16              | 21,0...21,4            |          | 35              | 30,5...30,9            |          |
| 17              | 21,5...21,9            | 22       | 36              | 31,0...31,4            | 32       |
| 18              | 22,0...22,4            |          | 37              | 31,5...31,9            |          |
| 19              | 22,5...22,9            |          | 38              | 32,0...32,4            |          |
|                 |                        |          | 39              | 32,5...32,9            |          |

Результаты экспериментальных расчетов дают иную картину (см. рисунок).



Кривые распределения среднего значения бревен по диапазонам диаметров со стандартным отклонением: 1 –  $X_{cp} - 2s$ ; 2 –  $X_{cp} + 2s$ ; 3 –  $X_{cp} - 3s$ ; 4 –  $X_{cp} + 3s$



Очевидно, что полученная кривая отличается от кривой нормального распределения, сильно смещаясь влево. В каждом диапазоне диаметров, которые при стандартной сортировке бревен относились бы к одному четному диаметру, наблюдается неравномерное распределение в виде пиков, с увеличением дробности сортировки эти различия только усиливаются.

Во второй половине XX в. сырье на предприятия поступало в основном сплавом от 1-2 поставщиков, поэтому планирование раскроя по средним показателям (длине, диаметру и объему) было приемлемо. С переходом на рыночную экономику сильно возросла доля сырья, поступающего автомобильным транспортом, что повлекло за собой увеличение числа поставщиков, которое на крупных лесозэкспортных предприятиях в настоящее время доходит до 50, поэтому планировать раскрой по среднегодовым данным недопустимо.

Необходимо установить, является ли фактическая линия  $X_{cp}$  в любой момент времени автокорреляционной. Если считать, что функция  $X_{cp}$  является автокорреляционной, тогда каждое следующее значение зависит только от предыдущего в любой момент времени. Таким образом, кривая  $X_{cp}$  будет проходить параллельно  $X_{cp} \pm 2s$  и  $X_{cp} \pm 3s$ . В связи с этим можно говорить о переходе к стохастическим системам, в которых функция  $X_{cp}$  представляет собой дискретную случайную последовательность – марковскую цепь.

Чтобы определить, насколько справедливо вычисление среднего диаметра по средней длине, была построена пространственная развертка в координатах «длина бревен – группа диаметров бревен – количество бревен». Данная развертка показала следующее:

из длин, соответствующих ГОСТ 9463–88, выделяются три ведущих размера: 4,0; 5,2; 6,1 м;

с увеличением диаметра различия в длинах стираются.

Таким образом, установлено, что все множество не является однородным и должно рассматриваться как смесь трех подмножеств.

Если подходить к вычислению средних характеристик бревна с точки зрения теории вероятностей, то бревно имеет всего три параметра, которые могут считаться измеряемыми:

$d$  – непрерывная случайная величина;

$D$  – непрерывная случайная величина;

$l$  – дискретная случайная величина с учетом стандартного деления.

В дореформенный период распределение бревен по длинам было примерно равномерным, потому длины не влияли на определение среднего диаметра. Полученная нами зависимость представляет собой смесь, а потому вычислять средний диаметр следует по трем частям, учитывая все ведущие длины.

Проведенное исследование показало, что судить о правильной организации и планировании работы лесопильных заводов, учитывая средние размеры пиловочных бревен, некорректно. Получается, что средняя длина бревна – величина измеряемая, средний объем – вычисляемая, а средний диаметр – условная, а не фактическая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Власов Г.Д.* Лесопильное производство. М.: Гослесбумиздат, 1948. 399 с.
2. ГОСТ 9463–88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1990. 11 с.
3. *Турушев В.Г., Копейкин А.М., Рымашевский В.Л.* Влияние размерно-качественного состава пиловочного сырья на эффективность экспорта пиломатериалов // Лесн. журн. 2005. № 4. С. 96–103. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 25.01.12

*М.А. Korelskaya, А.М. Kopeikin*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**On Correctness of Saw Log Dimensions Calculation**

A new approach to sorting raw saw logs according to their diameter is suggested. The question of correctness of average saw log characteristics calculation is considered.

*Key words:* average volume, average length, average diameter.



УДК 662.8

**О.С. Пономарев, И.К. Гиндулин, Ю.Л. Юрьев**

Уральский государственный лесотехнический университет

Пономарев Олег Сергеевич родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант УГЛТУ. Имеет около 5 печатных работ в области термохимической переработки древесины.  
E-mail: o\_ponomarev@mail.ru



Гиндулин Ильдар Касимович родился в 1982 г., окончил в 2004 г. Уральский государственный лесотехнический университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры химической технологии древесины УГЛТУ. Имеет более 20 печатных работ в области термохимической переработки древесины.  
E-mail: tradeek@mail.ru



Юрьев Юрий Леонидович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой химической технологии древесины Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 60 печатных работ в области термохимической переработки древесины.  
E-mail: bluestones@mail.ru



## **ВАРИАНТЫ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОУГОЛЬНЫХ БРИКЕТОВ**

Показана возможность производства как бытовых древесноугольных брикетов с минимальным расходом крахмала в качестве связующего материала, так и технологических брикетов без использования стороннего связующего.

*Ключевые слова:* древесноугольный брикет, связующее, парогазовая смесь.

В России, как и за рубежом, наблюдается постоянный рост объемов производства древесного угля (ДУ) [3].

При производстве ДУ образуется до 15 % отходов в виде древесноугольной пыли и мелочи. ГОСТ 7657–84 нормирует содержание в ДУ частиц размером менее 12 мм. Эта фракция может служить сырьем для производства древесноугольных брикетов (ДУБ). В некоторых случаях в качестве сырья для производства ДУБ может выступать и стандартный ДУ.

ДУБ перед стандартным ДУ имеют следующие преимущества:

сырьем для производства ДУБ могут служить отходы лесопиления и деревообработки независимо от породы древесины, а также мелкий и некондиционный уголь;

---

© Пономарев О.С., Гиндулин И.К., Юрьев Ю.Л., 2013

увеличивается дальность экономически оправданной транспортировки вследствие повышенной механической прочности и высокой плотности ДУБ; потребительские свойства ДУБ, в отличие от свойств стандартного ДУ, можно регулировать в широких пределах.

Перевозка ДУБ обходится примерно в 2 раза дешевле стандартного ДУ. При существующих оптовых ценах внутреннего рынка расходы на транспортировку не должны превышать в среднем 4 р./кг.

Все технологии производства ДУБ включают: приготовление шихты для брикетирования (тщательное перемешивание измельченного ДУ со связующим материалом), последующее прессование шихты и сушку сырых брикетов. Отличиями существующих технологий являются: использование различных связующих, аппаратное оформление и технологический режим процесса. В качестве связующих материалов можно использовать крахмал, лигносульфонаты, нефтяной пек, древесную смолу и др. [1, 2]. При производстве бытовых брикетов в основном используют крахмал. Большинство других связующих выделяют вредные или дурнопахнущие вещества при горении, поэтому получаемые с их помощью ДУБ находят только промышленное применение.

При прессовании ДУБ используют гидравлические и валковые прессы, экструдеры и др. Валковые прессы и экструдеры позволяют организовать непрерывный процесс производства, однако гидравлические прессы позволяют достичь большей плотности ДУБ вследствие большего давления прессования. С точки зрения транспортировки и бытового использования предпочтительной формой брикетов являются «подушечка» или «яйцо». Брикет такой формы проще производить в валковых прессах, но при их использовании существует проблема залипания шихты в пресс-формах.

Целью настоящей работы является получение древесноугольных брикетов (ДУБ) высокого качества с низкой себестоимостью.

#### Вариант 1. Действующая технология производства бытовых ДУБ со сниженным расходом связующего материала

Нами предложена технология производства ДУБ, которая внедрена на производящем древесный уголь предприятии ООО «Нико» (г. Тавда Свердловской области). В качестве связующего используют крахмал, прессование шихты осуществляют валковым прессом. Проблема залипания шихты решена полировкой пресс-формы.

Особенностью данной технологии является низкое (максимум 5 %) содержание связующего по сравнению с традиционными (10...15 %). Этот эффект был достигнут за счет предварительной подготовки сырья, отличной от существующих. После прессования влажные ДУБ отправляются на сушку в сушильную камеру печи пиролиза, где используется избыточная теплота процесса пиролиза.

Для производства древесного угля на этом предприятии применяют модульные пиролизные ретортные установки типа МПРУ, которые относятся к печам с вертикальными выемными ретортами. Реторты поочередно пере-

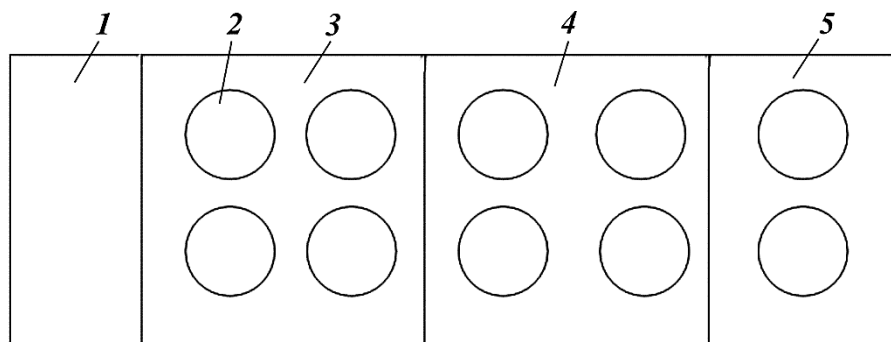


Рис. 1. Установка МПРУ: 1 – топка; 2 – реторта; 3 – камера пиролиза; 4 – камера сушки древесного угля; 5 – камера сушки ДУБ

двигают из камеры сушки в камеру пиролиза. В предложенной нами технологии сушильная камера для ДУБ встроена в установку для получения ДУ (рис. 1) и использует для сушки избыточную теплоту пиролиза.

Полученные таким образом брикеты имеют высокое качество и по всем показателям соответствуют требованиям ТУ 2455-003-31235731-06.

Преимущества предлагаемой нами технологии:

- возможность безотходной термохимической переработки древесины;
- снижение себестоимости ДУБ за счет сокращения расходов на покупку связующего и сушку брикетов избыточной теплотой печи для производства древесного угля.

#### Вариант 2. Предлагаемая технология производства технологических ДУБ

Нами предложена технология производства ДУБ без добавления стороннего связующего, которая может использоваться в тех случаях, когда поставка связующего затруднена или экономически неэффективна.

В качестве связующего материала в этом случае используется капельная фаза парогазовой смеси (ПГС), образующейся при пиролизе древесины. В состав ПГС (при внешнем теплообмене на стадии пиролиза) входят, %: отстойная и растворимая смолы – соответственно 2,4 и 1,7; кислоты – 0,7; вода – 27,0; газы пиролиза – остальное. По нашим данным, в шихте остается, % от ПГС: отстойная и растворимая смолы – соответственно 95,7 и 96,4; кислоты – 98,0; вода – 88,6. Связующим материалом в этих брикетах являются растворимые и отстойные смолы ПГС.

Схема получения шихты для брикетирования с использованием компонентов ПГС в качестве связующего показана на рис. 2.

Древесные опилки (влажность 30...55 %; фракция не более 5 мм) прессуют без связующего с таким расчетом, чтобы после пиролиза не потребовался размол. Прессование проводят гидравлическим прессом (давление прессования 20 МПа).

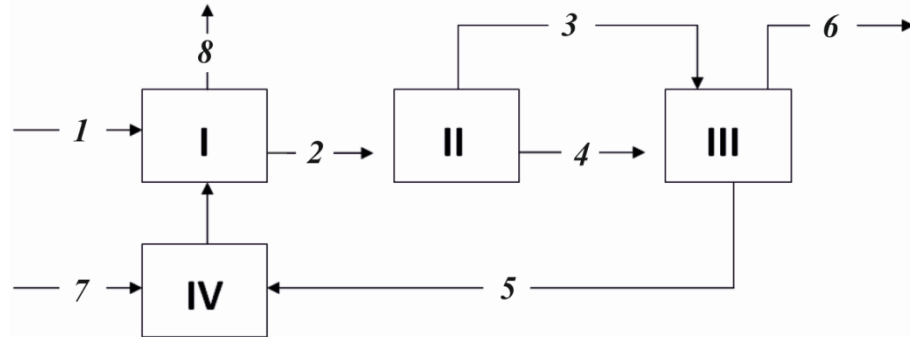


Рис. 2. Принципиальная схема получения шихты для брикетирования: I – сушилка, II – печь пиролиза, III – реактор, IV – топка; 1 – древесные отходы (опил), 2 – высушенные древесные отходы, 3 – древесный уголь, 4 – ПГС, 5 – газы пиролиза, 6 – шихта на прессование, 7 – воздух, 8 – отработанный теплоноситель

Спрессованные древесные опилки в виде брикетов 2 загружают в печь пиролиза II, откуда полученный ДУ 3 загружают в реактор III, не вынимая из реторты, а в печь пиролиза II загружают следующую партию отходов. Во время пиролиза ПГС 4, выделяющаяся из камеры пиролиза, проходит через реактор III. Капельная фаза ПГС (смолы и часть кислот) осаждается на ДУ, а газы пиролиза 5 проходят через слой угля и подаются в топку печи пиролиза IV на сжигание. Затем уголь с осажденной смолой 6, полученный в реакторе III, направляют на размол и брикетирование.

Прессование проводят гидравлическим прессом (давление прессования 30 МПа). Полученные брикеты подвергают прокатке при температуре 600...700 °С, затем охлаждают, фасуют и направляют потребителю.

В результате нами получены ДУБ, которые удовлетворяют требованиям ТУ 2455-003-31235731-06 (см. таблицу).

| Показатель   | Значение показателя                            |  |  |
|--|--|--|--|
|  | ТУ 2455-033-31235731-06                        | Вариант 1                                      | Вариант 2                                      |
| Внешний вид  | Брикеты<br>черного цвета без<br>видимых сколов | Брикеты<br>черного цвета без<br>видимых сколов | Брикеты<br>черного цвета без<br>видимых сколов |
| Массовая доля не-<br>летучего углерода,<br>%, не менее | 75,0   | 79,0   | 91,5   |
| Массовая доля<br>зола, %, не более                     | 10,0   | 8,0  | 2,5  |
| Массовая доля<br>воды, %, не более                     | 15,0   | 13,0   | 6,0  |
| Плотность брикета,<br>кг/м <sup>3</sup> , не менее     | 571,5  | 582,0...635,0                                  | 580,0...780,0                                  |
| Механическая<br>прочность<br>на сбрасывание            | Брикеты<br>не раскололись                      | Брикеты<br>не раскололись                      | Брикеты<br>не раскололись                      |

Предлагаемая нами технология имеет следующие преимущества:  
возможность безотходной термохимической переработки неликвидной  
лиственной древесины;

снижение себестоимости ДУБ за счет сокращения расходов на покупку  
связующего и сушку брикетов избыточным теплом печи для производства  
древесного угля;

сокращение удельных норм расхода воды.

Таким образом, полученные по предложенным вариантам ДУБ (с до-  
бавкой крахмала не более 5 % и без использования стороннего связующего)  
удовлетворяют требования ТУ 2455-003-31235731-06.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев О.С., Гиндулин И.К., Юрьев Ю.Л. Брикетирование некондиционно-  
го древесного угля // Лесн. журн. 2012. № 2. С. 103–105. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Цейтлин Л.И. Древесноугольные брикеты. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. 66 с.
3. Юрьев Ю.Л. Древесный уголь: справ. Екатеринбург: Сократ, 2007. 184 с.

Поступила 16.11.11

*O.S. Ponomarev, I.K. Gindulin, Yu.L. Yuryev*  
The Ural State Forest Engineering University

#### **Possible Ways of Charcoal Briquette Production**

The article demonstrates the possibility of producing both household charcoal briquettes  
with a minimum use of starch as a binding material, and technological briquettes with  
no added binder.

*Key words:* charcoal briquette, binder, steam gas mixture.

---

УДК 744.425:378.09

**Н.Н. Черемных**

Уральский государственный лесотехнический университет

Черемных Николай Николаевич родился в 1942 г., окончил в 1965 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой начертательной геометрии и машиностроительного черчения, академик МАНЭБ и РАЕ, чл.-корр. РАЕН, почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный изобретатель РФ. Имеет более 150 научных работ в области совершенствования оборудования и технологий в лесопильно-деревообрабатывающих производствах.  
E-mail: ugtungmh@yandex.ru



## РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЛЕСОПИЛЬНЫХ ЦЕХОВ

Приведен расчет эффективности акустической защиты ограждающих конструкций лесопильных цехов с учетом реальных возможностей размещения звукопоглощающих облицовок в пространстве цеха.

*Ключевые слова:* лесопильные цеха, звукопоглощающие облицовки, эффективность акустической защиты.

Решению вопроса о целесообразности акустической обработки должен предшествовать расчет ожидаемого снижения уровня шума и звукового давления. Ниже приводится такой расчет применительно к лесопильным цехам. Метод основан на использовании акустической постоянной помещения, которая определяется на основании обработки наших опытных данных по уже построенным и эксплуатируемым цехам.

Снижение уровня звукового давления ( $\Delta L$ , дБ) в зоне отраженного звука определим по известной формуле [1, 3]

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \frac{B_{a.o}}{B}, \quad (1)$$

где  $B$  и  $B_{a.o}$  – постоянная помещения до и после акустической обработки,  $m^2$ .

Определим постоянную помещения после обработки [1, 3]:

$$B_{a.o} = \frac{A_1 + \Delta A}{1 - \alpha_{a.o}}, \quad (2)$$

где  $A_1$  – площадь звукопоглощения необлицованной поверхности,  $m^2$ ,

$$A_1 = \alpha_{cp}(S - S_{a.o}); \quad (3)$$

$\Delta A$  – суммарное добавочное поглощение, вносимое конструкцией звукопоглощающей облицовки и штучными поглотителями [1, 3],  $m^2$ ,

$$\Delta A = \alpha_k S_{a.o} + A_{шт}n, \quad (4)$$

$\alpha_k$  – реверберационный коэффициент звукопоглощения конструкции;

$A_{шт}$  – эквивалентная площадь звукопоглощения одного штучного поглотителя,  $m^2$ ;



$n$  – число штучных звукопоглотителей;

$\alpha_{a.o}$  – средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения [2, 4],

$$\alpha_{a.o} = \frac{A_1 + \Delta A}{S}; \quad (5)$$

$\alpha_{cp}$  – средний коэффициент звукопоглощения до акустической обработки помещения,

$$\alpha_{cp} = \frac{B}{B + S}; \quad (6)$$

$S$  – суммарная площадь ограждаемых помещение поверхностей (пол, потолок, стены),  $m^2$ ;

$S_{a.o}$  – площадь поверхностей помещения, покрытых звукопоглощающим материалом,  $m^2$ .

Найдем величину  $B_{a.o}$ , подставив в формулу (2) значения входящих в нее величин из формул (3–6). Формулу (5) впишем без учета штучных поглотителей (интенсивно собирают пыль, снижают освещенность, мешают работе технологического подъемно-транспортного оборудования и ПТО при ремонте и монтаже технологического оборудования (лесопильных рам, впереди и позади рамного оборудования, рольгангов, обрезных станков и т.д.)).

После алгебраических вычислений получим

$$B_{a.o} = \frac{B(\frac{S}{S_{a.o}} - 1 + \alpha_k) + \alpha_k S}{\frac{B}{S}(1 - \alpha_k) + (\frac{S}{S_{a.o}} - \alpha_k)}. \quad (7)$$

Коэффициент, учитывающий во сколько раз общая поверхность помещения  $S$  больше поверхности, облицованной звукопоглощающим материалом или звукопоглощающими конструкциями  $S_{a.o}$ , обозначим  $j$ .

Акустическая постоянная

$$B = B_1 \mu,$$

где  $B_1$  – акустическая постоянная при частоте  $f = 1000$  Гц;

$\mu$  – множитель для каждой октавной полосы.

Формулу (7) запишем в виде

$$B_{a.o} = \frac{B_1 \mu (j - 1 + \alpha_k) + \alpha_k S}{(j - \alpha_k) + \frac{B_1 \mu}{S} (1 - \alpha_k)}. \quad (8)$$

После подстановки зависимости (8) в формулу (1) получим

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \frac{(j - 1 + \alpha_k) + \alpha_k \frac{S}{B_1 \mu}}{(j - \alpha_k) + \frac{B_1 \mu}{S} (1 - \alpha_k)}. \quad (9)$$

Нами были проанализированы типовые проекты 2-, 4-, 8- и 12-рамных лесопильных цехов.

Расчет площадей поверхностей, ограждающих современные лесопильные цехи, показал, что на потолок приходится примерно 38...43 % всех поверхностей, на стены – 14...24 %, или приблизительно половина площади потолка. Площадь окон составляет 40...50 % площади стен. Если облицевать только потолок (с учетом возможности размещения грузоподъемных механизмов для монтажа оборудования), то  $j = 2,3...2,6$  (в среднем  $j_{cp} = 2,5$ ). Если облицевать потолок и верхнюю половину стен, т.е. занять облицовкой 50 % площади сплошной стены или 25 % всех стен вместе с окнами, что эквивалентно 12 % площади потолка, то  $j = 2,2...2,3$  ( $j_{cp} = 2,25$ ). Наиболее реальна и доступна облицовка только потолка.

Расчет соотношений  $\frac{S}{B_1}$  и  $\frac{B_1}{S}$  показал, что их величина постоянна:

$$\frac{S}{B_1} = 3,6...3,8; \left(\frac{S}{B_1}\right)_{cp} = 3,7; \frac{B_1}{S} = 0,263...0,275; \left(\frac{B_1}{S}\right)_{cp} = 0,27.$$

С учетом этих допущений эффективность акустической облицовки лесопильных цехов при облицовке только потолка

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \frac{(1,5 + \alpha_k) + 3,7 \frac{\alpha_k}{\mu}}{2,5 - \alpha_k}; \quad (10)$$

при облицовке потолка и 50 % сплошной стены

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \frac{(1,25 + \alpha_k) + 3,7 \frac{\alpha_k}{\mu}}{2,25 - \alpha_k}. \quad (11)$$

Значения множителя для октавной полосы в цехах объемом более 500 м<sup>3</sup> представлены ниже.

|             |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Частота, Гц | 63   | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| μ           | 0,50 | 0,50 | 0,55 | 0,70 | 1,00 | 1,60 | 3,00 | 6,00 |

Частота 32 Гц не приведена, так как она не представляет интереса.

В качестве примера приведем расчет эффективности облицовки потолка типового лесопильного цеха объемом 7800 м<sup>3</sup> (проект 411-2-36/70) плитами «Акмигран» с откосом от потолка на расстояние 50 мм.

Были измерены уровни звукового давления в восьми октавных полосах: 90; 89; 87; 89; 89; 84; 85; 81 дБ (что соответствует уровню звука 94 дБА). Ожидаемые (расчетные) уровни: 90; 89; 81; 82; 83; 79; 82; 79 дБ (88 дБА). Таким образом, ожидаемое снижение составляет 6 дБА, или 6...7 %.

Графики для определения постоянной помещения  $B_1$  при  $f = 1000$  Гц приведены для лесопильных и деревообрабатывающих цехов системы бывше-

го Минлеспрома в Руководящих материалах [4]: для лесопильных цехов –  $B_1 = V/7$ , для деревообрабатывающих цехов –  $B_1 = V/3$ , для цехов спичечного производства –  $B_1 = V/10$ , для деревообрабатывающих помещений малых предприятий –  $B_1 = V/2,5$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черемных Н.Н. Акустическая мощность двухэтажных лерам // Лесн. журн. 1974. № 3. С. 62–65. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Черемных Н.Н. Научно-практические подходы к проблеме комплексного снижения шума в лесопильно-деревообрабатывающих производствах // Лесн. журн. 2010. № 5. С. 93–96. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Чижевский М.П., Черемных Н.Н. Пути снижения шума в лесопильно-деревообрабатывающем производстве. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 208 с.
4. Чижевский М.П., Черемных Н.Н. Руководящие материалы по расчету шумности и проектированию противозумных мероприятий в лесопильно-деревообрабатывающем производстве. М.: Минлеспром СССР, 1978. 367 с.

Поступила 16.02.12

*N.N. Cheremnykh*

The Ural State Forest Engineering University

#### **Efficiency Calculation of Acoustic Treatment of Sawing Workshops**

The paper presents efficiency calculation of acoustic treatment of sawing workshops, taking into account actual possibilities of placing sound-absorbing linings within the workshop.

*Key words:* sawing workshops, sound-absorbing linings, efficiency of acoustic treatment.

УДК 676.038.4

**О.Д. Мюллер, В.И. Мелехов, В.К. Любов, Д.Л. Герасимчук, А.Н. Попов**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Мюллер Оскар Давыдович родился в 1948 г., окончил в 1973 г. Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, кандидат технических наук, доцент кафедры океанотехники и энергетических установок филиала Севмашвтуз Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 50 печатных работ в области повышения энергоэффективности использования древесного сырья.  
E-mail: oscar@mail.ru



Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Имеет более 190 публикаций в области теплоэнергетики.  
Тел.: 8(8182) 21-61-75



Герасимчук Дмитрий Леонидович родился в 1987 г., окончил в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры древесиноведения и тепловой обработки древесины САФУ. Имеет 4 печатных работы в области переработки отходов деревообработки на основе новых технологий.  
Тел.: 8(8182) 21-61-49



Попов Анатолий Николаевич родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический институт, аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 3 публикации в области теплоэнергетики.  
E-mail: a.n.popov@narfu.ru



## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕССОВАНИЯ НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ ПЛОТНОСТЬ ТОПЛИВНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ**

Исследовано и проанализировано влияние давления прессования на относительную плотность произведенных древесных гранул в зависимости от фракционного состава и влажности исходного сырья и приложенного давления прессования. Получены аналитические зависимости для расчета относительной плотности спрессованных топливных древесных гранул.

*Ключевые слова:* древесные отходы, опилки, влажность древесины, насыпная плотность, относительная плотность, давление, пресс-гранулятор, матрица, фильера.

Технологические процессы механической обработки древесины сопровождаются получением большого количества кусковых и измельченных отходов, которые в последующем используются неэффективно или складываются в отвалах, где полностью теряют кондицию.

Истощение запасов традиционных ископаемых (невозобновляемых) источников энергии и нарастающее глобальное потепление за счет парниковых газов, получаемых при сжигании таких видов топлива, интенсифицировало проявление интереса к возобновляемым источникам энергии с меньшим содержанием образующихся парниковых газов, более экологичным при сжигании. В первую очередь, это относится к биотопливным ресурсам, основным из которых является древесина. Особое внимание уделяется топливу в виде древесных топливных гранул. Согласно экспертным оценкам [2] ежегодная потребность мирового рынка в топливных древесных гранулах к 2020 г. возрастет от 130 до 170 млн т.

При этом использование кусковых и измельченных отходов деревообработки в первозданном виде в качестве биотопливных ресурсов имеет ограниченное применение, что связано с их низкой теплотворной способностью, малой насыпной плотностью, нетехнологичностью, усложняющейся транспортной доступностью и пр. Использование таких отходов в качестве источника энергетических ресурсов экономически оправдано, если расстояние от места их изготовления до места использования не превышает 50 км.

Для повышения энергетической эффективности древесных отходов, увеличения их насыпной плотности, транспортабельности разработана технология гранулирования растительной биомассы, в частности древесных отходов. Это направление в настоящее время является одним из самых перспективных. Стремительное развитие производства древесных гранул наблюдается в Канаде, странах Скандинавии, Дании, Германии и др., за последние годы заметно выросло производство древесных гранул в России, вводятся в строй новые предприятия различной производственной мощности.

Технологический процесс получения древесных гранул включает следующие этапы: предварительное измельчение исходного древесного сырья; сушка измельченной древесины до влажности 8...12 %; измельчение высушенной древесины до размеров фракции не более 1,5 мм; прессование высушенной и измельченной древесной массы в прессе-грануляторе; охлаждение полученных гранул.

Существенное влияние на энергетические затраты процесса производства гранул оказывает давление, развиваемое в прессе-грануляторе. При этом приложенное давление оказывает влияние и на конечную плотность спрессованных гранул [1]. В настоящее время отсутствуют качественные и количественные оценки влияния приложенного давления прессования на плотность древесных гранул.

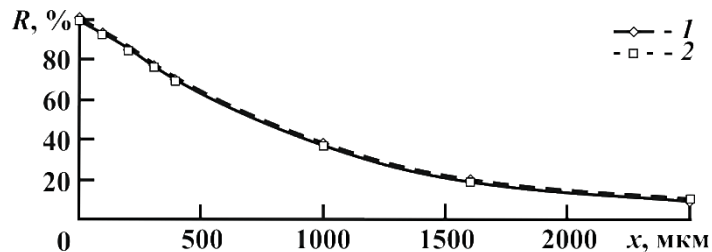
Цель нашего исследования – определение влияния давления прессования при гранулировании на конечную плотность готовых древесных гранул в зависимости от фракционного состава и исходной влажности древесной массы-шихты, подаваемой в виде щепы и опилок.

Исходная древесная шихта характеризуется насыпной плотностью, которая зависит от исходной породы древесины, влажности и фракционного состава. Насыпная плотность  $\rho_0$  представляет собой массу свободно насыпанного исходного измельченного до определенного состояния материала в килограммах на метр кубический, конечная плотность  $\rho$  спрессованной древесной шихты в основном определяется давлением прессования  $p$ .

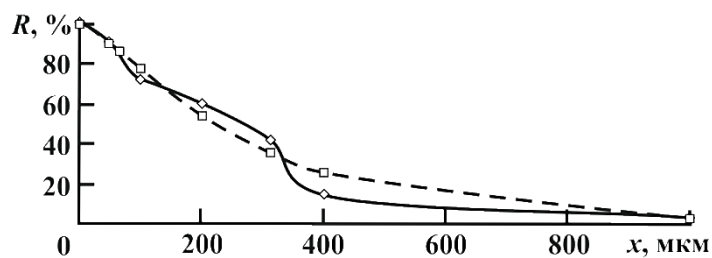
Для проведения исследований была создана экспериментальная установка на основе рычажного пресса с усилием порядка 20 кН и изготовлены две матрицы с фильерами диаметром 6 и 8 мм и два пуансона. Пуансоны, оснащенные пьезометрическим датчиком силы, установлены на подвижном штоке пресса. Датчик был откалиброван и с помощью аппаратуры zet-lab подключен к персональному компьютеру. Экспериментальная установка обеспечивает давление до 400 МПа на пуансоне диаметром 8 мм и до 700 МПа на пуансоне диаметром 6 мм. Экспериментальные исследования проводили при давлении до 100 МПа, что в несколько раз превышает давление, создаваемое на существующих прессах-грануляторах.

Для опытов использовали древесно-шлифовальную пыль (ДШП) и древесную шихту, имеющую следующий фракционный состав, мм:  $\delta \leq 2,5$ ; 1,0 и 0,5. Исходная влажность древесной шихты, %:  $w = 6,09$ ; 10,09; 15,00; 20,00. Опыты проводили на древесине сосны.

Интегральная, так называемая зерновая, фракционная характеристика шихты из древесины сосны при  $\delta \leq 2,5$  мм и  $\delta \leq 1,0$  мм представлена на рис. 1.



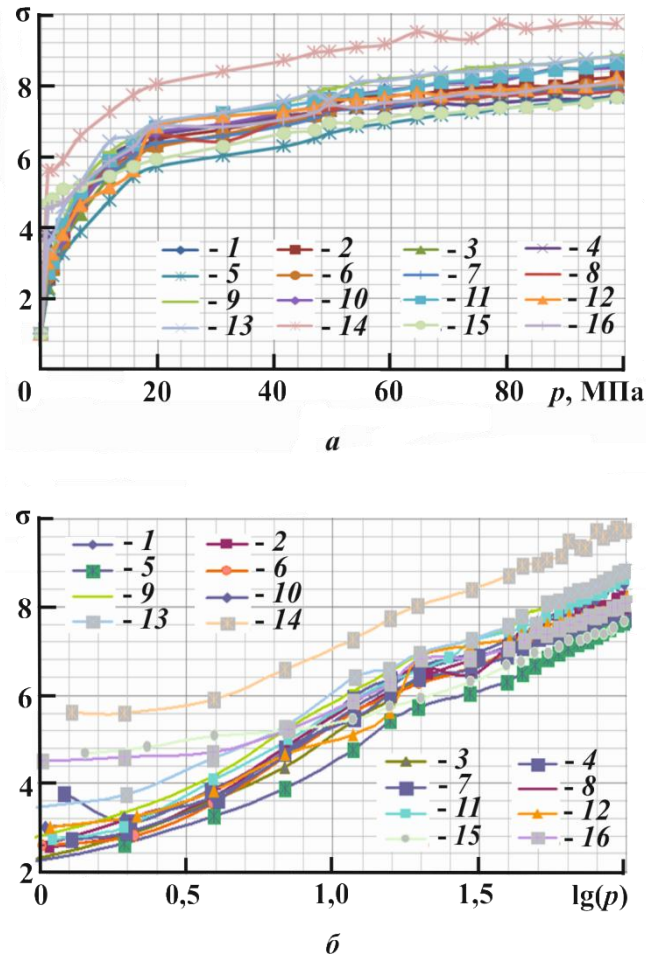
а



б

Рис. 1. Интегральная зерновая характеристика древесной шихты (материал – сосна): а –  $\delta \leq 2,5$  мм; б –  $\delta \leq 1,0$  мм; 1 – опыт; 2 – расчет

Рис. 2. Зависимость коэффициента сжимаемости  $\sigma$  древесной шихты (материал – сосна) от приложенного давления прессования  $p$ , размеров шихты  $\delta$  и ее влажности  $w$  (*а*), то же в полулогарифмической системе координат (*б*): 1–4 –  $\delta \leq 2,0$  мм; 5 – 8  $\leq 1,0$ ; 9 – 12  $\leq 0,5$ ; 13 – 16 – ДШП; 1, 3, 5, 9, 13 –  $w = 6,09$  %; 2, 6, 10, 14 – 10,09; 3, 7, 11, 15 – 15,00; 4, 8, 12, 16 – 20,00 %



Результаты экспериментов по определению зависимости плотности древесной шихты от приложенного давления приведены на рис. 2, *а*.

Из рис. 2, *а* видно, что интенсивный рост плотности древесной шихты наблюдается до давления 25 МПа. Дальнейшее повышение приложенного давления сопровождается замедлением увеличения плотности древесного материала. На рис. 2, *б* представлены те же зависимости в полулогарифмической системе координат.

Из рис. 2 видно, что все экспериментальные данные укладываются на ряд параллельных прямых, которые хорошо описываются уравнением прямой:

$$\sigma = a + b \lg p,$$

где  $a$  – координата точки пересечения с осью ординат;

$b$  – угловой коэффициент прямой.

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что  $a$  изменяется от 2,2 до 3,0, а  $b = 2,7$ , причем большее значение  $a$  соответствует

и большей исходной влажности сырья для каждого фракционного состава. Анализ влияния  $a$  на конечную плотность спрессованных гранул показал, что влияние это незначительно и для расчетов можно принять  $a = 2,8$ . Тогда уравнение, описывающее зависимость относительной плотности древесной шихты  $\sigma$  от приложенного давления  $p$ , будет иметь следующий вид:

$$\sigma = 2,8 + 2,7 \lg p. \quad (1)$$

В технической литературе часто используется понятие «уплотняемость» – способность вещества к уплотнению под воздействием определенного давления. В нашем случае

$$\Gamma = \frac{\partial \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)}{\partial p}. \quad (2)$$

Продифференцировав (1), получим

$$\partial \sigma = \partial \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right) = \frac{2,7}{2,3p} \partial p.$$

Тогда уравнение (2) примет следующий вид:

$$\Gamma = \frac{1,17}{p}.$$

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что интенсивное уплотнение древесной шихты наблюдается при увеличении давления прессования до 25 МПа. Дальнейшее повышение давления прессования вызывает незначительное изменение коэффициента сжимаемости  $\sigma = \rho/\rho_0$ .

На рис. 3 видно, что после приложения давления в 30 МПа дальнейшее уплотнение исходной древесной шихты изменяется незначительно.

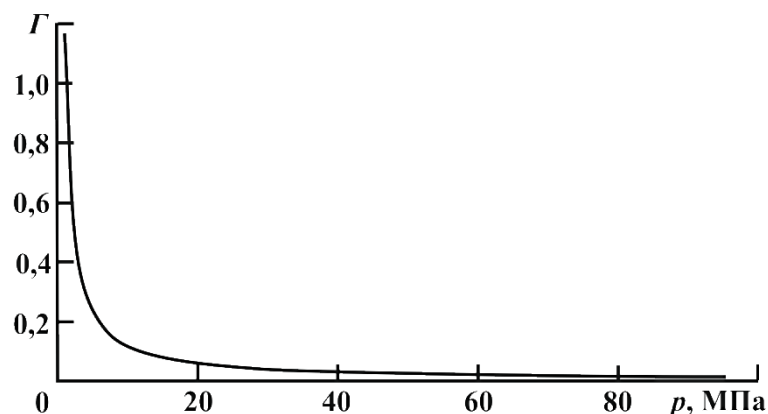


Рис. 3. Зависимость уплотняемости ( $\Gamma$ ) древесной шихты (материал – сосна) от приложенного давления ( $p$ )



Таким образом, можно сделать следующее заключение.

1. При производстве древесных гранул зависимость плотности произведенных гранул от приложенного давления носит логарифмический характер.

2. Относительная плотность полученных древесных гранул незначительно зависит от фракционного состава и влажности исходной шихты и может быть описана уравнением

$$\sigma = 2,8 + 2,7 \lg p. \quad (3)$$

Уплотняемость древесной шихты имеет обратную зависимость от приложенного давления. Анализ зависимости (3) показывает, что оптимальное значение давление прессования древесных топливных гранул находится в пределах 20...30 МПа. Дальнейшее увеличение плотности древесных гранул ведет к более быстрому росту давления прессования и связанных с ним энергетических затрат на единицу продукции. Уточненные значения давления прессования могут быть определены на основании сопоставительного анализа плотности древесных топливных гранул и энергетических затрат на их прессование.

3. Полученные зависимости позволяют определить направления экспериментальных исследований для нахождения основных параметров процесса, обеспечивающих получение древесных гранул заданного качества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мюллер О.Д., Малыгин В.И., Любов В.К. Влияние параметров технологического оборудования на качественные показатели древесных гранул // Лесн. журн. 2012. № 2. С. 90–98. (Изв. высш. учеб. заведений).

2. Pellet Atlas: Final report on producers, traders and consumers of wood pellets / R. Sikkema, M. Steiner, M. Junginger, W. Hiegl. 2009.

Поступила 20.01.12

***O.D. Mueller, V.I. Melekhov, V.K. Lyubov, D.L. Gerasimchuk, A.N. Popov***

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Dependence of Compacting Technological Parameters on Relative Density of Wood Fuel Pellets**

Dependence of compacting pressure on relative density of wood pellets with consideration for fractional breakup and moisture content of a feedstock has been studied and analyzed. The analytic equations for calculation of relative density of compacted wood fuel pellets have been derived.

*Key words:* wood wastes, sawdust, moisture content of wood, apparent density, relative density, pressure, pelleting press, die block, extrusion nozzle.

УДК 621.311

**С.П. Агеев**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 70 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.  
Тел.: 8(8182)20-03-57



## **МНОГОФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОПРОДУКЦИИ**

Предложена многофакторная модель электропотребления поточной линии производства пиломатериалов как линейная регрессионная модель, учитывающая влияние пяти факторов на удельный расход энергии.

*Ключевые слова:* удельный расход энергии, поточная линия, математическая модель, имитационное моделирование, полный факторный эксперимент, уравнение регрессии, объясняющие переменные.

Известно, что процесс получения пиломатериалов в лесопильном цехе осуществляется на отдельных поточных линиях, поэтому потребление энергии цехом в целом определяется как сумма расходов электроэнергии отдельными линиями. В связи с этим в целях снижения потребления и повышения эффективности использования электроэнергии необходимо, прежде всего, обеспечить работу поточных линий в рациональных, энергетически эффективных режимах. Эта задача может быть решена на основе анализа зависимостей потребления энергии линией от различных факторов, изменяющихся в процессе получения пиломатериалов [2].

Поскольку математическая модель представляет собой систему соотношений, определяющих зависимость характеристик процесса от его параметров и времени, то в первую очередь необходимо решить вопрос о выборе характеристики процесса (функция цели, критерий оптимизации) и системы параметров. В качестве характеристики процесса целесообразно выбрать такую функцию, которая удовлетворяла бы следующим требованиям:

- измеряла эффективность технологического процесса;
- была количественной, однозначной и статистически эффективной;

---

© Агеев С.П., 2013

имела простой и ясный физический смысл;

имела ограниченную область определения и экономическую природу.

Следует отметить, что энергетические и технологические режимы в большинстве производственных процессов деревообрабатывающих предприятий взаимосвязаны [4, 8]. В этом случае оптимальным энергетическим режимам, как правило, соответствует максимальная производительность технологического оборудования с минимальными удельными расходами энергии [1, 3]. Поэтому фактический удельный расход энергии представляет собой обобщающий показатель технико-экономического уровня (энергоэффективности) производства в целом. В связи с этим в настоящей работе в качестве характеристики технологического процесса выбран удельный расход электроэнергии (УРЭ) поточной линии производства пиломатериалов, как удовлетворяющий всем изложенным выше требованиям.

Экспериментальные исследования, проведенные на Соломбальском ЛДК г. Архангельска, показали, что процесс моделирования можно упростить, если учесть, что в общем энергопотреблении поточной линии более 92 % приходится на долю энергоемких механизмов (окорочный станок, 2 лесопильные рамы и 2 обрезных станка). Поэтому анализ энергопотребления поточной линии, определение наиболее рациональных режимов ее работы со сравнительно высокой степенью точности удобно и целесообразно проводить, используя упрощенную модель, которая характеризует потребление энергии поточной линией как суммарное энергопотребление только станками и лесопильными рамами (индекс «э» означает «энергоемкий»). Применение такой модели позволит анализировать энергопотребление поточной линии, не искажая реально существующих закономерностей этого потребления, по значительно меньшему числу исходных данных.

Для получения математической модели электропотребления автором была построена имитационная модель технологического процесса лесопиления с учетом случайных факторов [5], на которой был поставлен многофакторный эксперимент по полному факторному плану ПФЭ  $2^5$  [7].

Цель эксперимента состояла в изучении влияния скорости подачи  $u_1$  окорочного станка, продолжительности  $\tau_{B1}$  межторцового разрыва бревен при их подаче в окорочный станок, скорости подачи  $u_2$  лесопильной рамы 1-го ряда, соотношения скоростей  $u_{32}$  подачи лесопильных рам 2-го и 1-го рядов, скорости подачи  $u_4$  обрезных станков. Каждая серия состояла из  $m = 10$  параллельных опытов, в которых имитировали окорку, распиловку 20 бревен с нормативным диаметром 20 см и брусьев, а также обрезку досок на обрезных станках. В качестве отклика фиксировали значения УРЭ за оперативное  $d_{OЭ}$  и эффективное  $d_{ЭЭ}$  время работы поточной линии.

Значения верхних, нижних и основных уровней факторов, а также интервалы их варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Фактор  | Обозначение фактора |            | Уровни фактора |        |          | Интервал варьирования |
|---|---------------------|------------|----------------|--------|----------|-----------------------|
|   | Натуральное         | Нормальное | Верхний        | Нижний | Основной |                       |
| Скорость подачи окорочного станка, м/с          | $u_1$               | $x_1$      | 0,370          | 0,280  | 0,325    | 0,09                  |
| Межторцовый разрыв, с                           | $\tau_{В1}$         | $x_2$      | 1,0            | 6,0    | 3,5      | 5,0                   |
| Скорость подачи лесопильной рамы 1-го ряда, м/с | $u_2$               | $x_3$      | 0,205          | 0,250  | 0,228    | 0,045                 |
| Соотношение скоростей подачи лесопильных рам, % | $u_{32}$            | $x_4$      | 110            | 100    | 105      | 10                    |
| Скорость подачи обрезных станков, м/мин         | $u_4$               | $x_5$      | 120            | 80     | 100      | 40                    |

Запишем формулы, связывающие нормализованные и натуральные значения факторов:

$$x_1 = \frac{u_1 - 0,325}{0,09}; \quad x_2 = \frac{\tau_{В1} - 3,5}{5,0}; \quad x_3 = \frac{u_2 - 0,228}{0,045};$$

$$x_4 = \frac{u_{32} - 105}{10}; \quad x_5 = \frac{u_4 - 100}{40}.$$

Матрица ПФЭ  $2^5$  в натуральных обозначениях представлена в столбцах 2–6, результаты 10 дублированных опытов по каждой серии – в столбцах 7–16 табл. 2. В столбце 17 приведены значения отклика, усредненные по каждой из этих серий, в столбце 18 – результаты расчета дисперсий по каждой серии дублированных опытов, в столбце 19 – значения, вычисленные по соответствующему уравнению регрессии.

Рассмотрим получение уравнения регрессии на примере УРЭ  $d_{ЭЭ}$  поточной линии за эффективное время работы в течение интервала выпуска пилопродукции.

а) Проверка однородности дисперсий серий опытов

Поскольку в нашем случае имеет место равномерное дублирование опытов, используем критерий Кохрена. Тогда расчетное значение критерия

$$G_{\text{расч}} = \frac{s_{\text{max}}^2}{\sum_i s_i^2} = \frac{0,0038}{0,099} = 0,0384,$$

где  $s_{\text{max}}^2$  – максимальная дисперсия серии;  
 $s_i$  – дисперсия  $i$ -й серии опытов.

Таблица 2

| № серии | Значения факторов |                    |                |                 |                |                | Результаты эксперимента |           |           |           |           |           |           |           |           |           | Результаты расчетов |        |            |  |
|---------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|--------|------------|--|
|         | $u_1$ ,<br>м/с    | $\tau_{Б1}$ ,<br>с | $u_2$ ,<br>м/с | $u_{23}$ ,<br>% | $u_4$ ,<br>млн | $u_6$ ,<br>млн | $d_{Ф91}$               | $d_{Ф92}$ | $d_{Ф93}$ | $d_{Ф94}$ | $d_{Ф95}$ | $d_{Ф96}$ | $d_{Ф97}$ | $d_{Ф98}$ | $d_{Ф99}$ | $d_{Ф10}$ | $\bar{d}_{33}$      | $s^2$  | $d_{33}^*$ |  |
| 1       | 0,37              | 6                  | 0,2503         | 100             | 120            | 6              | 7,14                    | 7,04      | 7,12      | 7,13      | 6,99      | 7,03      | 7,02      | 7,03      | 7,07      | 7,03      | 7,06                | 0,0027 | 7,07       |  |
| 2       | 0,28              | 6                  | 0,2503         | 100             | 120            | 6              | 7,30                    | 7,21      | 7,29      | 7,29      | 7,15      | 7,20      | 7,18      | 7,19      | 7,24      | 7,19      | 7,22                | 0,0029 | 7,23       |  |
| 3       | 0,37              | 6                  | 0,2503         | 100             | 120            | 6              | 7,14                    | 7,04      | 7,12      | 7,13      | 6,99      | 7,03      | 7,02      | 7,03      | 7,07      | 7,03      | 7,06                | 0,0027 | 7,07       |  |
| 4       | 0,28              | 1                  | 0,2503         | 100             | 120            | 6              | 7,30                    | 7,21      | 7,29      | 7,29      | 7,15      | 7,20      | 7,18      | 7,19      | 7,24      | 7,19      | 7,22                | 0,0029 | 7,23       |  |
| 5       | 0,37              | 6                  | 0,2048         | 100             | 120            | 6              | 7,60                    | 7,49      | 7,58      | 7,59      | 7,43      | 7,49      | 7,47      | 7,48      | 7,53      | 7,48      | 7,51                | 0,0032 | 7,53       |  |
| 6       | 0,28              | 6                  | 0,2048         | 100             | 120            | 6              | 7,76                    | 7,66      | 7,75      | 7,75      | 7,60      | 7,65      | 7,63      | 7,64      | 7,69      | 7,64      | 7,68                | 0,0034 | 7,69       |  |
| 7       | 0,37              | 1                  | 0,2048         | 100             | 120            | 6              | 7,60                    | 7,49      | 7,58      | 7,59      | 7,43      | 7,49      | 7,47      | 7,48      | 7,53      | 7,48      | 7,51                | 0,0032 | 7,53       |  |
| 8       | 0,28              | 1                  | 0,2048         | 100             | 120            | 6              | 7,76                    | 7,66      | 7,75      | 7,75      | 7,60      | 7,65      | 7,63      | 7,64      | 7,69      | 7,64      | 7,68                | 0,0034 | 7,69       |  |
| 9       | 0,37              | 6                  | 0,2503         | 110             | 120            | 6              | 7,03                    | 6,94      | 7,02      | 7,02      | 6,88      | 6,93      | 6,92      | 6,93      | 6,97      | 6,92      | 6,96                | 0,0026 | 6,96       |  |
| 10      | 0,28              | 6                  | 0,2503         | 110             | 120            | 6              | 7,20                    | 7,10      | 7,18      | 7,19      | 7,05      | 7,09      | 7,08      | 7,09      | 7,13      | 7,09      | 7,12                | 0,0028 | 7,11       |  |
| 11      | 0,37              | 1                  | 0,2503         | 110             | 120            | 6              | 7,03                    | 6,94      | 7,02      | 7,02      | 6,88      | 6,93      | 6,92      | 6,93      | 6,97      | 6,92      | 6,96                | 0,0026 | 6,96       |  |
| 12      | 0,28              | 1                  | 0,2503         | 110             | 120            | 6              | 7,20                    | 7,10      | 7,18      | 7,19      | 7,05      | 7,09      | 7,08      | 7,09      | 7,13      | 7,09      | 7,12                | 0,0028 | 7,11       |  |
| 13      | 0,37              | 6                  | 0,2048         | 110             | 120            | 6              | 7,48                    | 7,38      | 7,47      | 7,47      | 7,32      | 7,37      | 7,36      | 7,37      | 7,42      | 7,36      | 7,40                | 0,0031 | 7,41       |  |
| 14      | 0,28              | 6                  | 0,2048         | 110             | 120            | 6              | 7,65                    | 7,54      | 7,63      | 7,64      | 7,48      | 7,54      | 7,52      | 7,53      | 7,58      | 7,53      | 7,56                | 0,0033 | 7,57       |  |
| 15      | 0,37              | 1                  | 0,2048         | 110             | 120            | 6              | 7,48                    | 7,38      | 7,47      | 7,47      | 7,32      | 7,37      | 7,36      | 7,37      | 7,42      | 7,36      | 7,40                | 0,0031 | 7,41       |  |
| 16      | 0,28              | 1                  | 0,2048         | 110             | 120            | 6              | 7,65                    | 7,54      | 7,63      | 7,64      | 7,48      | 7,54      | 7,52      | 7,53      | 7,58      | 7,53      | 7,56                | 0,0033 | 7,57       |  |
| 17      | 0,37              | 6                  | 0,2503         | 100             | 80             | 8              | 7,27                    | 7,18      | 7,26      | 7,26      | 7,12      | 7,17      | 7,15      | 7,16      | 7,21      | 7,16      | 7,19                | 0,0028 | 7,20       |  |
| 18      | 0,28              | 6                  | 0,2503         | 100             | 80             | 8              | 7,44                    | 7,34      | 7,42      | 7,43      | 7,28      | 7,33      | 7,31      | 7,33      | 7,37      | 7,32      | 7,36                | 0,0030 | 7,36       |  |
| 19      | 0,37              | 1                  | 0,2503         | 100             | 80             | 8              | 7,27                    | 7,18      | 7,26      | 7,26      | 7,12      | 7,17      | 7,15      | 7,16      | 7,21      | 7,16      | 7,19                | 0,0028 | 7,20       |  |
| 20      | 0,28              | 1                  | 0,2503         | 100             | 80             | 8              | 7,44                    | 7,34      | 7,42      | 7,43      | 7,28      | 7,33      | 7,31      | 7,33      | 7,37      | 7,32      | 7,36                | 0,0030 | 7,36       |  |
| 21      | 0,37              | 6                  | 0,2048         | 100             | 80             | 8              | 7,73                    | 7,63      | 7,72      | 7,72      | 7,57      | 7,62      | 7,60      | 7,61      | 7,66      | 7,61      | 7,65                | 0,0034 | 7,66       |  |
| 22      | 0,28              | 6                  | 0,2048         | 100             | 80             | 8              | 7,90                    | 7,79      | 7,88      | 7,89      | 7,73      | 7,78      | 7,76      | 7,78      | 7,83      | 7,77      | 7,81                | 0,0036 | 7,81       |  |
| 23      | 0,37              | 1                  | 0,2048         | 100             | 80             | 8              | 7,73                    | 7,63      | 7,72      | 7,72      | 7,57      | 7,62      | 7,60      | 7,61      | 7,66      | 7,61      | 7,65                | 0,0034 | 7,66       |  |
| 24      | 0,28              | 1                  | 0,2048         | 100             | 80             | 8              | 7,90                    | 7,79      | 7,88      | 7,89      | 7,73      | 7,78      | 7,76      | 7,78      | 7,83      | 7,77      | 7,81                | 0,0036 | 7,81       |  |
| 25      | 0,37              | 6                  | 0,2503         | 110             | 80             | 8              | 7,17                    | 7,08      | 7,15      | 7,16      | 7,02      | 7,07      | 7,05      | 7,06      | 7,11      | 7,06      | 7,09                | 0,0027 | 7,08       |  |
| 26      | 0,28              | 6                  | 0,2503         | 110             | 80             | 8              | 7,33                    | 7,23      | 7,32      | 7,32      | 7,18      | 7,23      | 7,21      | 7,22      | 7,27      | 7,22      | 7,25                | 0,0029 | 7,24       |  |
| 27      | 0,37              | 1                  | 0,2503         | 110             | 80             | 8              | 7,17                    | 7,08      | 7,15      | 7,16      | 7,02      | 7,07      | 7,05      | 7,06      | 7,11      | 7,06      | 7,09                | 0,0027 | 7,08       |  |
| 28      | 0,28              | 1                  | 0,2503         | 110             | 80             | 8              | 7,33                    | 7,23      | 7,32      | 7,32      | 7,18      | 7,23      | 7,21      | 7,22      | 7,27      | 7,22      | 7,25                | 0,0029 | 7,24       |  |
| 29      | 0,37              | 6                  | 0,2048         | 110             | 80             | 8              | 7,62                    | 7,52      | 7,60      | 7,61      | 7,45      | 7,51      | 7,49      | 7,55      | 7,55      | 7,50      | 7,53                | 0,0033 | 7,54       |  |
| 30      | 0,28              | 6                  | 0,2048         | 110             | 80             | 8              | 7,78                    | 7,68      | 7,77      | 7,78      | 7,62      | 7,67      | 7,65      | 7,66      | 7,71      | 7,66      | 7,70                | 0,0034 | 7,70       |  |
| 31      | 0,37              | 1                  | 0,2048         | 110             | 80             | 8              | 7,62                    | 7,52      | 7,60      | 7,61      | 7,45      | 7,51      | 7,49      | 7,55      | 7,55      | 7,50      | 7,53                | 0,0033 | 7,54       |  |
| 32      | 0,28              | 1                  | 0,2048         | 110             | 80             | 8              | 7,78                    | 7,68      | 7,77      | 7,78      | 7,62      | 7,67      | 7,65      | 7,66      | 7,71      | 7,66      | 7,70                | 0,0034 | 7,70       |  |

\*Значения, полученные по уравнению регрессии.

Из таблицы распределения Кохрена при уровне значимости  $\alpha = 0,01$ , числе степеней свободы серии  $f = m - 1 = 10 - 1 = 9$  и количестве  $N = 32$  серий опытов находим критическое значение критерия  $G_{кр} = 0,12$ . Поскольку  $G_{расч} < G_{кр}$ , то принимаем гипотезу об однородности дисперсий серий опытов.

б) *Нахождение оценки дисперсии воспроизводимости эксперимента*

$$s_{восп}^2(d_{ЭЭ}) = \frac{\sum s_i^2}{N} = \frac{0,099}{32} = 0,0031.$$

Число степеней свободы дисперсии воспроизводимости

$$f_{восп} = N(m - 1) = 32(10 - 1) = 288.$$

в) *Расчет коэффициентов регрессии*

Для этого, согласно [6], составляем матрицу базисных функций, дополненную столбцом значений УРЭ.

Тогда

$$b_0 = \frac{\sum d_{ЭЭi}}{N} = \frac{236,16}{32} = 7,380; \quad b_1 = \frac{\sum d_{ЭЭi}x_{1i}}{N} = \frac{-2,489}{32} = -0,078;$$

$$b_2 = \frac{\sum d_{ЭЭi}x_{2i}}{N} = 0,004; \quad b_3 = \frac{\sum d_{ЭЭi}x_{3i}}{N} = -0,228;$$

$$b_4 = \frac{\sum d_{ЭЭi}x_{4i}}{N} = -0,058; \quad b_5 = \frac{\sum d_{ЭЭi}x_{5i}}{N} = -0,063.$$

Дисперсии коэффициентов регрессии

$$s^2(b_i) = \frac{s_{восп}^2}{mN} = \frac{0,0031}{10 \cdot 32} = 0,00001.$$

Среднеквадратические отклонения коэффициентов регрессии

$$s(b_i) = \sqrt{s_{восп}^2(b_i)} = 0,0032.$$

г) *Проверка значимости коэффициентов регрессии*

Для этого используется  $t$ -критерий Стьюдента. В этом случае для каждого коэффициента регрессии определяется  $t$ -отношение:

$$t_i = \frac{|b_i|}{s(b_i)}.$$

Тогда

$$t_1 = \frac{b_1}{s(b_1)} = \frac{0,078}{0,0032} = 24,375; \quad t_2 = \frac{b_2}{s(b_2)} = \frac{0,0038}{0,0032} = 1,188;$$

$$t_3 = \frac{b_3}{s(b_3)} = \frac{0,228}{0,0032} = 71,250; \quad t_4 = \frac{b_4}{s(b_4)} = \frac{0,058}{0,0032} = 18,125;$$

$$t_5 = \frac{b_5}{s(b_5)} = \frac{0,063}{0,0032} = 19,688.$$

Критическое значения критерия для 5 %-го уровня значимости  $t_{кр} = 1,97$ . Таким образом, незначимым оказался только коэффициент  $b_2$ . В связи с исключением фактора  $x_2$  пересчет оставшихся коэффициентов регрессии в ПФЭ не производится. Окончательно уравнение регрессии принимает следующий вид:

$$d_{ЭЭ} = 7,38 - 0,078x_1 - 0,228x_3 - 0,058x_4 - 0,063x_5. \quad (1)$$

Из уравнения (1) следует, что на УРЭ  $d_{ЭЭ}$  оказывают влияние скорости подачи всех станков поточной линии, наибольшее из которых соответствует лесопильной раме 1-го ряда.

д) *Определение доверительных интервалов коэффициентов регрессии*

Обозначив истинные значения коэффициентов как  $\beta_i$ , используем следующую формулу:

$$b_i - t_{кр} s(b_i) \leq \beta_i \leq b_i + t_{кр} s(b_i).$$

Тогда будем иметь

$$7,374 \leq \beta_0 \leq 7,386;$$

$$-0,084 \leq \beta_1 \leq -0,072;$$

$$-0,234 \leq \beta_3 \leq -0,222;$$

$$-0,064 \leq \beta_4 \leq -0,052;$$

$$-0,069 \leq \beta_5 \leq -0,057.$$

е) *Проверка адекватности уравнения регрессии*

Определяем сумму квадратов отклонений, характеризующую адекватность уравнения:

$$S_{Ад} = m \sum_i (\bar{d}_{ОЭi} - \tilde{d}_{ОЭi})^2 = 10 \cdot 0,01465 = 0,1465,$$

где  $\bar{d}_{ОЭi}$  – среднее значение УРЭ в  $i$ -й серии опытов;

$\tilde{d}_{ОЭi}$  – значение УРЭ, рассчитанное по уравнению регрессии для  $i$ -й серии опытов.

Число степеней свободы дисперсии адекватности

$$f_{Ад} = N - p = 32 - 5 = 27,$$

где  $p$  – число коэффициентов регрессии анализируемого уравнения.

Дисперсия адекватности

$$s_{Ад}^2 = \frac{S_{Ад}}{f_{Ад}} = \frac{0,1465}{27} = 0,0054.$$

Проверку однородности дисперсий адекватности и воспроизводимости выполняем с помощью F-критерия Фишера. Для этого вычисляем соотношение

$$F_{набл} = \frac{s_{Ад}^2}{s_{восп}^2} = \frac{0,0054}{0,0031} = 1,74.$$

Так как  $F_{набл} < F_{кр} = 2,19$  при уровне значимости  $\alpha = 0,01$ , принимаем гипотезу об адекватности уравнения регрессии (1). Из этого уравнения следует, что увеличение всех факторов приводит к снижению УРЭ.

Аналогично было получено уравнение регрессии для УРЭ за операционное время работы поточной линии:

$$d_{OЭ} = 8,03 - 0,114x_1 + 0,117x_2 - 0,223x_3 - 0,058x_1x_2 - 0,033x_1x_3 + 0,033x_2x_3 - 0,059x_1x_2x_3. \quad (2)$$

Соотношение  $F_{\text{набл}} < F_{\text{кр}}$ , которое наблюдалось и в данном случае, позволило принять гипотезу об адекватности полученного уравнения регрессии на уровне значимости  $\alpha = 0,01$ .

Из уравнения (2) следует, что наибольшее влияние на УРЭ оказывает фактор  $x_3$  (скорость подачи лесопильной рамы 1-го ряда), затем фактор  $x_1$  (скорость подачи окорочного станка). При этом факторы  $x_4$  (соотношение скоростей подачи лесопильных рам) и  $x_5$  (скорость подачи обрезных станков) не оказывают никакого воздействия на результирующую переменную.

ж) *Влияние факторов и взаимодействий на удельный расход энергии  $d_{OЭ}$*

Во многих случаях степень влияния одного фактора зависит от уровня, на котором находится другой фактор. В этом случае речь идет о наличии эффекта взаимодействия между этими факторами.

Проанализируем влияние на УРЭ  $d_{OЭ}$  скорости подачи окорочного станка (фактор  $x_1$ ) и взаимодействия  $x_1x_2$ . Для этого рассмотрим следующие случаи:

$x_2 = 0$ ;  $x_3 = 0$  (этому случаю соответствует фиксирование факторов  $\tau_{B1}$  и  $u_2$  на основном уровне);

$x_2 = 1$ ;  $x_3 = 0$  (фиксируется фактор  $\tau_{B1}$  на верхнем уровне);

$x_2 = -1$ ;  $x_3 = 0$  (фиксируется фактор  $\tau_{B1}$  на нижнем уровне).

В первом случае, подставляя  $x_2 = 0$ ;  $x_3 = 0$  в уравнение (2), получим

$$d_{OЭ}(1) = 8,03 - 0,114x_1.$$

Этому уравнению на рисунке соответствует прямая  $d_{OЭ}(1)$ .

Во втором случае, подставляя в (2)  $x_2 = 1$ ;  $x_3 = 0$ , получаем

$$d_{OЭ}(2) = 8,147 - 0,172x_1,$$

которому на рисунке соответствует прямая  $d_{OЭ}(2)$ . Поскольку с ростом фактора  $\tau_{B1}$  удельный расход энергии  $d_{OЭ}$  увеличивается ( $b_2 > 0$ ), то прямая  $d_{OЭ}(2)$  лежит выше прямой  $d_{OЭ}(1)$ . Причем эти прямые не параллельны. Ввиду того, что  $b_{12} < 0$ , прямая  $d_{OЭ}(2)$  наклонена к оси абсцисс под меньшим углом, чем прямая  $d_{OЭ}(1)$ . Отсюда следует, что при большем значении межторцового разрыва  $\tau_{B1}$  изменение скорости подачи  $u_1$  окорочного станка оказывает более сильное влияние на удельный расход энергии поточной линии.

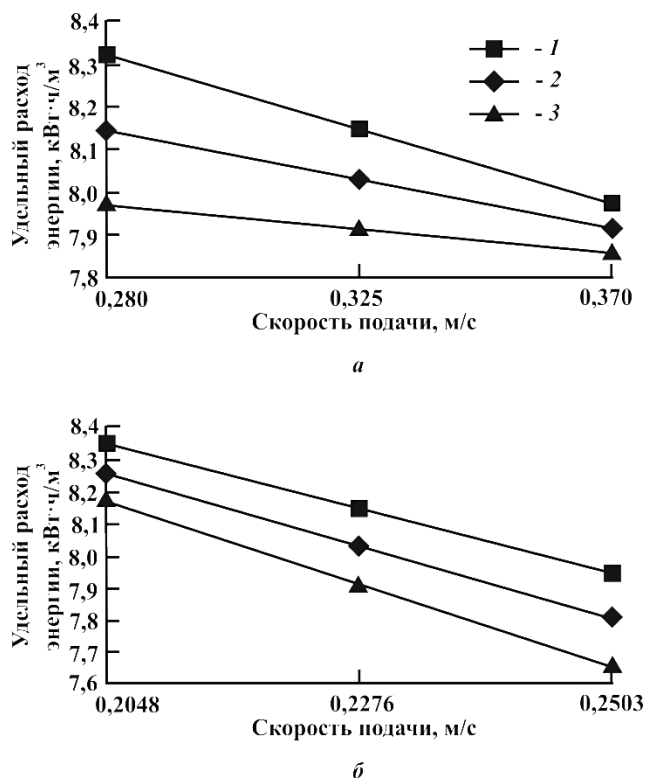
Третьему случаю соответствует следующее уравнение связи:

$$d_{OЭ}(3) = 7,913 - 0,056x_1.$$

Поскольку с уменьшением фактора  $\tau_{B1}$  удельный расход энергии  $d_{OЭ}$  уменьшается ( $b_2 > 0$ ), то прямая  $d_{OЭ}(3)$  лежит ниже прямой  $d_{OЭ}(1)$ . Эти прямые также не параллельны. Причем прямая  $d_{OЭ}(3)$  наклонена к оси абсцисс под большим углом, чем прямая  $d_{OЭ}(1)$ . Отсюда следует, что при меньшем межторцовом разрыве  $\tau_{B1}$  изменение скорости подачи  $u_1$  окорочного станка оказывает весьма слабое влияние на удельный расход энергии поточной линии.



Графики зависимостей УРЭ поточной линии от скорости подачи окорочного станка (а) и лесопильной рамы 1-го ряда (б): 1 –  $d_{0Э}(1)$ ; 2 –  $d_{0Э}(2)$ ; 3 –  $d_{0Э}(3)$



Аналогично было проанализировано влияние скорости подачи лесопильной рамы 1-го ряда и взаимодействий  $x_2x_3$  и  $x_1x_3$  соответственно на УРЭ поточной линии. В первом случае при большем значении межторцового разрыва  $\tau_{В1}$  изменение скорости подачи  $u_2$  лесопильной рамы оказывает слабое влияние на УРЭ поточной линии и наоборот. Во втором случае большему значению скорости подачи  $u_1$  окорочного станка соответствует более сильное влияние на УРЭ изменения скорости подачи  $u_2$  лесопильной рамы и наоборот.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев С.П. Исследование зависимости удельного электропотребления от производительности варочной установки «Пандия» // Лесн. журн. 1985. № 5. С. 130–133. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Агеев С.П., Мелехов В.И. Вероятностная модель производственного процесса лесопильного цеха // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Междунар. науч.-техн. конф., 9-11 декабря 2009 г. Вологда, 2010. С. 91–93.
3. Агеев С.П. Нормирование удельных расходов электроэнергии на предприятиях ЦБП // Проблемы экологии на Европейском Севере: сб. науч. тр. Архангельск: РИО, АЛТИ, 1992.
4. Агеев С.П., Шепель Г.А., Шумилов А.А. Рациональное использование электроэнергии. Проблемы энергетики Европейского Севера. сб. науч. тр. АГТУ. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1996.
5. Агеев С.П. Энергетические характеристики поточной линии производства пилопродукции // Лесн. журн. 2012. № 2. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).

6. Адлер Ю.П., Макарова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.

7. Пижурин А.А., Розенбит М.С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 232 с.

8. Энергоснабжение предприятий лесоперерабатывающего комплекса / С.П. Агеев, В.В. Радюшин, А.В. Ушаков, Г.А. Шепель // Оптимизация и интенсификация технологических процессов в энергетике и промышленности: сб. науч. тр. Архангельск, 2004. С. 11–12.

Поступила 16.11.11

*S.P. Ageyev*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Multifactor Model of a Sawmill Production Line Electric Energy Demand**

Multifactor model of electric power consumption for a sawmill production line is presented. The linear regression model takes into consideration effect of five factors on specific power consumption for sawn timber production.

*Key words:* specific power consumption, production line, mathematical model, simulation modeling, complete factorial experiment, regression equation, explanatory variables.

---



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.1.022.1:668.743.54

**А.В. Вураско, Б.Н. Дрикер, Э.В. Мертин, А.Р. Минакова**

Уральский государственный лесотехнический университет

Вураско Алеся Валерьевна окончила в 1988 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химии древесины и технологии ЦБП Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 100 печатных трудов в области каталитического окисления органических и неорганических соединений, каталитической и органосольвентной варок растительного сырья.  
E-mael: vurasko2010@yandex.ru



Дрикер Борис Нутович родился в 1944 г., окончил в 1966 г. Одесский университет, доктор технических наук, профессор кафедры общей и неорганической химии Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 400 печатных трудов в области изучения физико-химических свойств комплексонов и комплексонов металлов.  
E-mael: Boris.Driker@yandex.ru



Мертин Элеонора Викторовна окончила в 2009 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант кафедры химии древесины и технологии ЦБП УГЛТУ. Имеет 20 печатных трудов в области изучения модификаций целлюлозы.  
E-mael: mertin@e1.ru



Минакова Анастасия Рашитовна окончила в 2000 г. Уральский государственный лесотехнический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры химии древесины и технологии ЦБП УГЛТУ. Имеет более 40 печатных трудов в области получения технической целлюлозы из недревесного растительного сырья.  
E-mael: galimova\_ar@mail.ru



### **ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНА ПРИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ОРГАНОСОЛЬВЕНТНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ НЕДРЕВЕСНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Исследовано влияние озона на процесс окислительно-органосольвентной делигнификации шелухи овса, определены физико-химические характеристики полученных волокнистых полуфабрикатов.

*Ключевые слова:* озон, целлюлоза, шелуха овса, окислительно-органосольвентная делигнификация.

---

© Вураско А.В., Дрикер Б.Н., Мертин Э.В., Минакова А.Р., 2013

Анализ литературных данных позволяет утверждать, что сейчас достаточно активно ведутся исследования по разработке альтернативных способов делигнификации, которые являются экологически малоопасными и позволяют получать целлюлозу с высоким выходом и свойствами, не уступающими целлюлозе традиционных способов [1]. Примерами служат технологии с использованием органических растворителей, в частности перуксусной кислоты (ПУК) [3]. При производстве целлюлозы для снижения экономических затрат и увеличения степени делигнификации без ухудшения качества необходимо снижать расход основного варочного агента (равновесной рПУК) путем использования, например, дополнительного окислителя – озона. Будучи сильным окислителем, он активно взаимодействует со многими органическими веществами, в том числе с лигнином и целлюлозой [2].

Цель нашего исследования – изучение влияния озона на процесс делигнификации в условиях окислительно-органосольвентной варки целлюлозы.

В ходе эксперимента использовали шелуху овса, отобранную на Кедровском крупяном заводе (г. Березовский Свердловской области) при переработке урожая 2010 г. Для шелухи овса характерно высокое содержание лигнина, целлюлозы, водорастворимых и экстрактивных веществ. Предварительно из сырья щелочной экстракцией выделяли минеральные компоненты. Щелочную обработку проводили 1 н раствором гидроксида натрия (температура 90 °С, продолжительность 90 мин). При этом происходило обогащение сырья целлюлозой за счет снижения содержания лигнина и удаления минеральных веществ, что благоприятно сказалось на получении технической целлюлозы окислительно-органосольвентным способом [6]. Содержание компонентов в шелухе овса до и после щелочной экстракции представлено в табл. 1.

Окислительно-органосольвентные варки проводили в стеклянном реакторе вертикального типа с подачей газовой смеси в его нижнюю часть через пористую перегородку (рис. 1). Реактор установлен на водяной бане и снабжен обратным холодильником, пробоотборником и мешалкой. Для озонирования использовали лабораторный озонатор и компрессор марки «Sonic Silent Powerful 338» с возможностью регулирования подачи газа (воздуха). Производительность озонатора 4 г/ч.

Таблица 1

| Компоненты   | Содержание компонентов в шелухе, % |                 |
|--|------------------------------------|-----------------|
|  | исходной                           | после обработки |
| Целлюлоза (по Кюршнеру)                                | 48,8 ± 1,0                         | 55,8 ± 1,0      |
| Лигнин (по ГОСТ 11960)                                 | 28,2 ± 0,5                         | 23,6 ± 0,5      |
| Растворимые экстрактивные вещества:                    |                                    |                 |
| в органических растворителях (спирто-бензольная смесь) | 1,4 ± 0,3                          | 1,1 ± 0,3       |
| в горячей воде   | 14,8 ± 0,5                         | 8,1 ± 0,5       |
| Минеральные вещества                                   | 4,4 ± 0,1                          | 0,5 ± 0,1       |

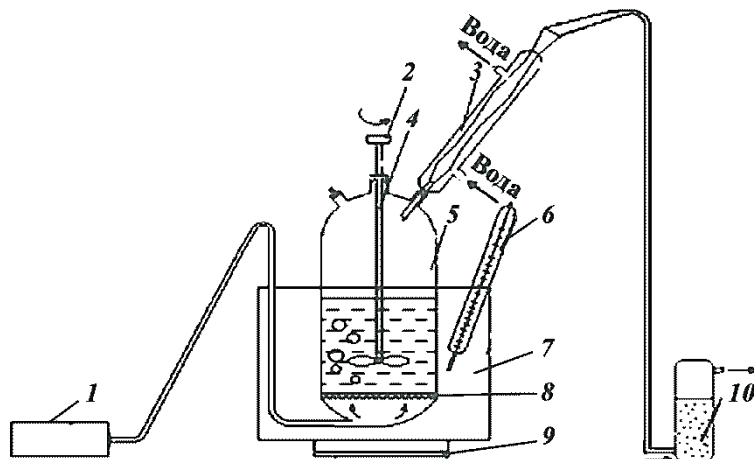


Рис. 1. Схема установки для получения целлюлозы окислительно-органосольвентным способом в присутствии озона: 1 – озонатор; 2 – привод мешалки; 3 – обратный холодильник; 4 – мешалка; 5 – стеклянный реактор; 6 – термометр; 7 – водяная баня; 8 – стеклянная пористая перегородка; 9 – нагрев; 10 – угольный адсорбер

Условия варки: температура – 90 °С, расход рПУК – 0,4 г/г абс. сухого сырья, продолжительность подъема температуры до начала варочного процесса – 30 мин, продолжительность варки – 150 мин. По окончании варки целлюлозу промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции, высушивали и анализировали.

В ходе работы исследовано влияние озона на процесс удаления лигнина в зависимости от продолжительности варки, изучено изменение концентрации основных варочных реагентов (пероксид водорода –  $H_2O_2$  и рПУК). Зависимость изменения концентрации рПУК и  $H_2O_2$  от продолжительности окислительно-органосольвентной варки в присутствии озона представлена на рис. 2. Контрольную варку проводили без озона.

Обработку экспериментальных данных по кинетике расходования рПУК и удаления лигнина проводили, используя уравнение реакции первого порядка [3]:

$$K_p = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0 - C_p}{C_\tau - C_p},$$

где  $K_p$  – константа скорости реакции,  $c^{-1}$ ;

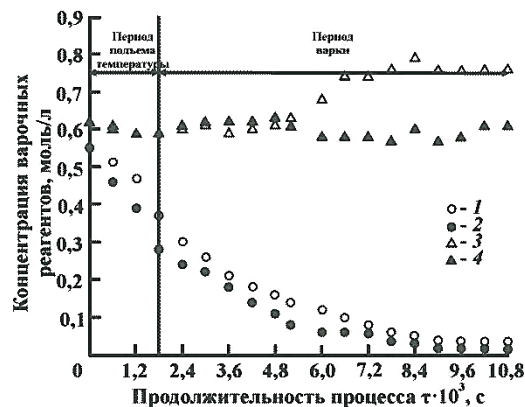
$\tau$  – продолжительность процесса, с;

$C_0$  – концентрация с учетом термического разложения, моль/л;

$C_p$  – равновесная концентрация, моль/л;

$C_\tau$  – концентрация в момент времени  $\tau$ .

Рис. 2. Зависимость изменения концентрации рПУК и  $H_2O_2$  от продолжительности  $\tau$  варки с озоном (1, 3) и без него (2, 4)



Для определения констант скорости реакций использовали графический метод, который заключается в построении графика, выражающего для реакции первого порядка линейную зависимость функции  $\ln\left(\frac{C_0 - C_p}{C_\tau - C_p}\right)$  от продолжительности процесса, при этом  $K_p = \text{tg } \alpha$ . Типичная зависимость представлена на рис. 3.

При варке с озоном  $K_p = (3,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-2} \text{ c}^{-1}$ , при контрольной варке  $K_p = (3,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-2} \text{ c}^{-1}$ . Очевидно, что снижение скорости разложения рПУК в присутствии озона свидетельствует о том, что он в процессе варки выполняет роль стабилизатора пероксидных соединений, а также участвует в образовании рПУК [5].

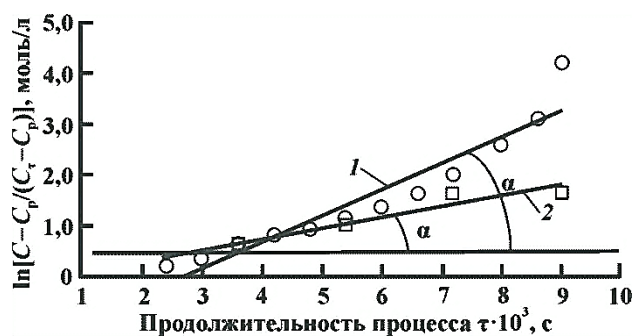


Рис. 3. Зависимость  $\ln\left(\frac{C_0 - C_p}{C_\tau - C_p}\right)$  от продолжительности варки: 1 – расходование рПУК ( $y = 0,5163x - 1,3836$ ;  $R^2 = 0,9006$ ); 2 – удаление лигнина ( $y = 0,21x - 0,1095$ ;  $R^2 = 0,9207$ )

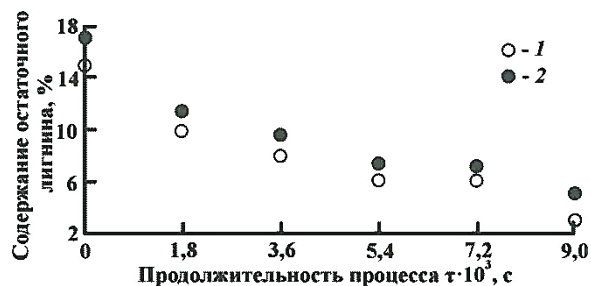


Рис. 4. Зависимость содержания остаточного лигнина в технической целлюлозе от продолжительности варки с озоном (1) и контрольной варки (2)

Концентрация  $\text{H}_2\text{O}_2$  при варке в присутствии озона также увеличивается на 5...7 % (см. рис. 2), в то время как при контрольной варке концентрация  $\text{H}_2\text{O}_2$  практически не меняется. Это может быть связано с тем, что в присутствии озона происходит накопление пероксида в результате взаимодействия с органическими веществами, образующимися в процессе варки [7].

Для подтверждения гипотезы образования в варочном растворе рПУК и  $\text{H}_2\text{O}_2$  проведен нагрев варочного раствора в присутствии озона без субстрата. При этом происходит увеличение содержания  $\text{H}_2\text{O}$  на 30...50 %, что может быть связано с образованием свободных радикалов [4]. При варке субстрата с озоном образующиеся свободные радикалы активно участвуют в процессе удаления лигнина (рис. 4).

Константы скорости удаления лигнина при варке в присутствии озона и без него практически равны: соответственно  $(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$  и  $(1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Однако при равной скорости делигнификации и общей продолжительности процесса 180 мин количество удаленного лигнина в присутствии озона в 2 раза больше, чем при варке без него (контрольной).

Таблица 2

| Показатели  | Значения показателей |                   |
|---|----------------------|-------------------|
|   | Варка с озоном       | Контрольная варка |
| Выход целлюлозы, %  | $70,0 \pm 0,2$       | $70,0 \pm 0,2$    |
| Содержание остаточного лигнина, %   | $2,7 \pm 0,2$        | $5,2 \pm 0,2$     |
| $\alpha$ -Целлюлоза, %  | $71,7 \pm 1,0$       | $69,0 \pm 1,0$    |
| Экстрактивные вещества, растворимые в органических растворителях (спирто-бензольная смесь), % | $0,77 \pm 0,2$       | $0,75 \pm 0,2$    |
| Степень полимеризации (ГОСТ 9105 – 74)  | $1150 \pm 50$        | $1150 \pm 50$     |
| Сорбционная способность по йоду, мг/г   | $15,0 \pm 0,1$       | $15,0 \pm 0,1$    |
| Содержание карбоксильных групп, %   | $0,83 \pm 0,1$       | $0,74 \pm 0,1$    |
| Белизна, %  | $94,0 \pm 0,2$       | $94,0 \pm 0,2$    |

Полученную техническую целлюлозу характеризовали физико-химическими показателями, (табл. 2). Как отмечено выше, при равном выходе содержание остаточного лигнина в целлюлозе, полученной в присутствии озона, ниже в 2 раза. При этом озон не разрушает углеводную часть, что подтверждается содержанием  $\alpha$ -целлюлозы и степенью полимеризации, приводит к увеличению количества карбоксильных групп, способствующих повышению реакционной способности целлюлозы. Очевидно, что при равной степени белизны варка с озоном обеспечивает удаление лигнина, а без него – обесцвечивание.

Таким образом, применение озонирования при окислительно-органо-растворительной делигнификации способствует интенсификации удаления лигнина уже в период подъема температуры. Это позволяет при практически равной скорости делигнификации снизить содержание остаточного лигнина в 2 раза при равном выходе технической целлюлозы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боголицын К.Г.* Разработка научных основ экологически безопасных технологий комплексной химической переработки древесного сырья // Лесн. журн. 1998. № 2–3. С. 40–52. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Кремляков И.В., Буйницкая М.И.* Озон и его использование в целлюлозно-бумажной промышленности: обзорн. информ. М., 1990. 28 с.
3. *Минакова А.Р.* Получение целлюлозы окислительно-органо-растворительным способом при переработке недревесного растительного сырья: дис.... канд. техн. наук. Архангельск. 2008. 151 с.
4. *Нейланд О.Я.* Органическая химия: учеб. для хим. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1990. 751 с.
5. Пат. 2425030 РФ, МПК С 07С 407/00. Способ получения раствора перокси-кислот для делигнификации и отбеливания / Вураско А.В., Дрикер Б.Н., Минакова А.Р., Мертин Э.В.; УГЛТУ. № 2010104604/04; заявл. 09.02.2010; опубл. 27.07.2011.
6. Ресурсосберегающая технология получения целлюлозного материала при комплексной переработке сельскохозяйственных культур / А.В. Вураско [и др.] // Химия растительного сырья. 2006. № 4. С. 5–10.
7. Физическая химия лигнина: моногр. / К.Г. Боголицын [и др.]; под ред. К.Г. Боголицына, В.В. Лунина. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. 492 с.

Поступила 01.11.11

*A. V. Vurasko, B.N. Driker, E.V. Mertin, A.R. Minakova*

The Ural State Forest Engineering University

#### **Use of Ozone for Oxidative and Organic Solvent Delignification of Non-Wood Plant Raw Material**

The influence of ozone on the process of oxidative and organic solvent delignification of oat husk was studied; physical and chemical properties of the obtained semi-finished wood-fiber products were estimated.

*Key words:* ozone, pulp, oat husk, oxidative and organic solvent delignification.



УДК 634.0.813:547.992.3

**А.П. Карманов<sup>1</sup>, Л.С. Кочева<sup>2</sup>, В.Ю. Беляев<sup>3</sup>, О.С. Бровко<sup>4</sup>, Ю.С. Оводов<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук

<sup>2</sup> Сыктывкарский государственный университет

<sup>3</sup> Институт химии Коми научного центра Уральского  
отделения Российской академии наук

<sup>4</sup> Институт экологических проблем Севера Уральского отделения  
Российской академии наук

<sup>5</sup> Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук

Карманов Анатолий Петрович родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Куйбышевский политехнический институт, доктор химических наук, заведующий лабораторией физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 250 печатных работ в области физикохимии полимеров, химии лигнина, самоорганизации, фракталов, нелинейной динамики и электронной микроскопии.

E-mail: apk0948@yandex.ru



Кочева Людмила Сергеевна окончила в 1979 г. Сыктывкарский государственный университет, доктор химических наук, зав. кафедрой химии Сыктывкарского государственного университета. Имеет более 130 печатных работ в области химии и технологии растительных веществ, структурной организации биополимеров, самоорганизации, электронной микроскопии.

E-mail: kocheva-ls@chemi.komisc.ru



Беляев Валерий Юрьевич родился в 1963 г., окончил в 1985 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат химических наук, ст. научный сотрудник лаборатории физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 50 печатных работ в области физикохимии полимеров, химии лигнина, целлюлозы, лигноуглеводного комплекса.

Тел.: 8(8212) 43-24-27



Бровко Ольга Степановна окончила в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент, ст. научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет более 120 научных трудов в области физикохимии биополимеров.

E-mail: brovko-olga@rambler.ru



Оводов Юрий Семенович родился в 1937 г., окончил Московский государственный университет, академик РАН, член Бюро Отделения биологических наук РАН, директор Института физиологии КомиНЦ УрО РАН. Имеет более 350 научных работ в области иммунологии природных углеводсодержащих антигенов и иммуномодуляторов; химии природных соединений, биоорганической химии, иммунохимии и иммунобиологии.

E-mail: ovoys@phisiol.komisc.ru



© Карманов А.П., Кочева Л.С., Беляев В.Ю., Бровко О.С., Оводов Ю.С., 2013

**ЛИГНИН КСИЛЕМЫ ПИХТЫ *ABIES SIBIRICA*.  
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МАКРОМОЛЕКУЛ  
МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ\***

Методами скоростной седиментации, поступательной диффузии и вискозиметрии исследованы гидродинамические свойства растворов лигнина пихты *Abies sibirica*. Определены скейлинговые параметры зависимостей типа Марка–Куна–Хаувинка и гидродинамические инварианты. Рассмотрена взаимосвязь гидродинамических и конформационных свойств образцов лигнина.

*Ключевые слова:* лигнин, гидродинамические свойства, конформация, топологическая структура, скейлинг.

*Введение*

Актуальность исследований природного полимера–лигнина определяется той значительной ролью, которую он играет в технологических процессах химической переработки древесины на целлюлозу, бумагу и картон. Технология получения целлюлозосодержащих материалов из различных видов растительного сырья определяется и во многом зависит от химической и топологической структуры входящего в его состав лигнина. Проблема топологической структуры макромолекул природных лигнинов до настоящего времени не имела однозначного решения, что связано с многообразием химического состава лигнинов, отсутствием совершенных методов выделения, сложностью изучения и интерпретации гидродинамических и конформационных свойств макромолекул в растворах. Исследования, проведенные в последние годы [1, 2, 5], показывают, что физико-химические свойства лигнинов отличаются от свойств сетчатых полимеров. На основании экспериментально установленных фактов и обнаруженных закономерностей было показано, что макромолекулы лигнина березы, осины, рябины, робинии имеют звездообразную структуру, а лигнины, выделенные из древесины сосны, ели и лиственницы, относятся к классу хаотически разветвленных полимеров [7]. Эти результаты подтверждают ранее предложенную гипотезу о поливариантности топологической структуры природных лигнинов [3], в рамках которой устанавливается определяющая роль таксономического положения лигнинсодержащих растений. Поскольку из хвойных видов сырья древесина ели и сосны наиболее востребована в целлюлозно-бумажной промышленности, то наибольший объем исследований пришелся на лигнины из этих видов сырья, тогда как сведения о топологической структуре других лигнинных биополимеров, в частности пихтового лигнина, практически отсутствуют.

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН (код проекта 12-М-45–2012) и гранта РФФИ (код проекта 12-04-00445-а).

Настоящая работа посвящена исследованию гидродинамических свойств и топологической структуры макромолекул лигнина, выделенного из ксилемы пихты *Abies sibirica*.

#### Экспериментальная часть

Объект исследования – лигнин вторичной ксилемы пихты *Abies sibirica*. Содержание лигнина (по Комарову) – 29,2 %. Образец лигнина выделяли диоксанным методом [8], обрабатывая предварительно измельченную и обессмоленную древесину смесью диоксан–вода в присутствии хлористого водорода при температуре кипения раствора в течение 2 ч. После двукратного переосаждения из диоксана в диэтиловый эфир образец диоксанлигнина пихты (ДЛ-П) характеризовался следующими показателями, %: содержание ОСН<sub>3</sub>-групп – 14,4 (метод С13-ЯМР-спектроскопии); СООН-групп – 3,2 (хемосорбционный метод); С – 65,1; Н – 6,3 (Hewlett Packard).

Фракционирование образца ДЛ-П проводили дробным осаждением в системе диоксан–бензол. Для исследования гидродинамических свойств лигнина использовали методы скоростной седиментации, поступательной диффузии и вискозиметрии. Растворитель – диметилформамид (ДМФА). Концентрация полимера  $\eta$  при измерениях отвечала критерию разбавленности Дебая  $c[\eta] < 1$  (где  $\eta$  – характеристическая вязкость).

Коэффициенты скоростной седиментации  $S$  измеряли на аналитической ультрацентрифуге МОМ-3180 в 2-секторной полиамидной кювете с образованием искусственной границы при  $48 \cdot 10^3$  об/мин по скорости смещения максимума ординаты седиментограммы:

$$S = (\Delta \ln x / \Delta t) \omega^{-2},$$

где  $x$  – координата максимума седиментограммы;

$t$  – время седиментации, мин;

$\omega$  – частота вращения ротора центрифуги,  $\omega = 2\pi n$ .

Концентрация растворов  $\sim (1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>. На рис. 1 представлена зависимость  $\Delta \ln x$  от  $t$  для некоторых фракций ДЛ-П в ДМФА.

Рис. 1. Зависимость смещения седиментационной границы  $\Delta \ln x$  от времени седиментации  $t$  для фракций образца лигнина ДЛ-П (цифрами от 1 до 6 обозначены номера фракций)

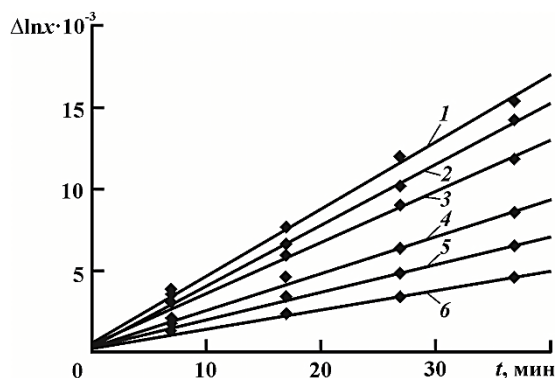
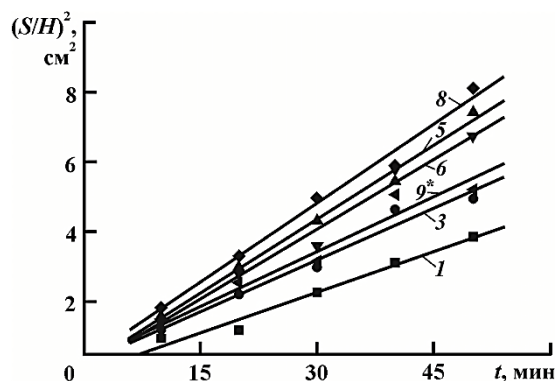


Рис. 2. Зависимость дисперсии диффузионной границы  $(S/H)^2$  от времени  $t$  для фракций 1, 3, 5, 6, 8 и нефракционированного образца 9\* лигнина ДЛ-П



Коэффициенты диффузии  $D$  определяли с помощью аналитической ультрацентрифуги МОМ-3180 ( $5 \cdot 10^3$  об/мин) при использовании полиамидной кюветы наплаивающего типа, рабочие полости которой имеют секториальную форму. Концентрация растворов  $\sim 3 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>. Коэффициенты  $D$  рассчитывали, используя зависимость  $(S/H)^2 = f(t)$  (рис. 2) и формулу

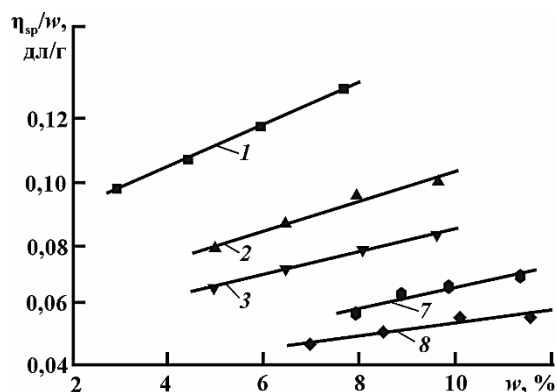
$$D = (\Delta(S/H)^2 / 4\pi F^2 \Delta t),$$

где  $S$  и  $H$  – соответственно площадь и максимальная ордината контура диффузионной кривой;

$F$  – масштабный множитель.

Вязкость растворов измеряли в капиллярном вискозиметре Оствальда при температуре 298 К. Характеристическую вязкость  $[\eta]$  фракций полимера определяли линейной экстраполяцией зависимостей приведенной вязкости  $([\eta]_{уд}/c)$  к бесконечному разбавлению, выполненной в соответствии с известным уравнением Хаггинса и с учетом поправки на плотность растворов. На рис. 3 представлены результаты вискозиметрических измерений для некоторых фракций исследуемого лигнина.

Рис. 3. Зависимость приведенной вязкости  $\eta_{sp}/w$  от массовой концентрации  $w$  фракций ДЛ-П в ДМФА



Для вычислений молекулярных масс  $M_{SD}$  использовали экспериментальные данные, найденные непосредственно для каждой из анализируемых фракций лигнина:

$$M_{SD} = SRT / (1 - \bar{\nu}\rho_0)D,$$

где  $(1 - \bar{\nu}\rho_0)$  – фактор плавучести Архимеда системы полимер–растворитель.

Для образца ДЛ-П фактор  $(1 - \bar{\nu}\rho_0) = 0,3910$ .

Молекулярные массы  $M_{D\eta}$  определяли по уравнению

$$M_{D\eta} = A_0^3 ([D]^3 [\eta]),$$

где  $A_0$  – инвариант Цветкова–Кленина,  $A_0 = \eta_0 D (M_{SD} [\eta])^{1/3} / T$ ;

$$D = \eta_0 D / T.$$

### Обсуждение результатов

В результате исследований установлено, что лигнин ДЛ-П относится к биополимерам, состоящим в основном из мономерных единиц гваяцильного типа. Об этом свидетельствует сравнительно невысокое содержание метоксильных групп (14,4 %), а также элементный состав ДЛ-П, характерный для G-лигнинов. ИК-спектр данного образца (рис. 4) указывает на то, что ДЛ-П в рамках классификации Кавамура–Хигуши относится к гваяцильным лигнинам N-типа.

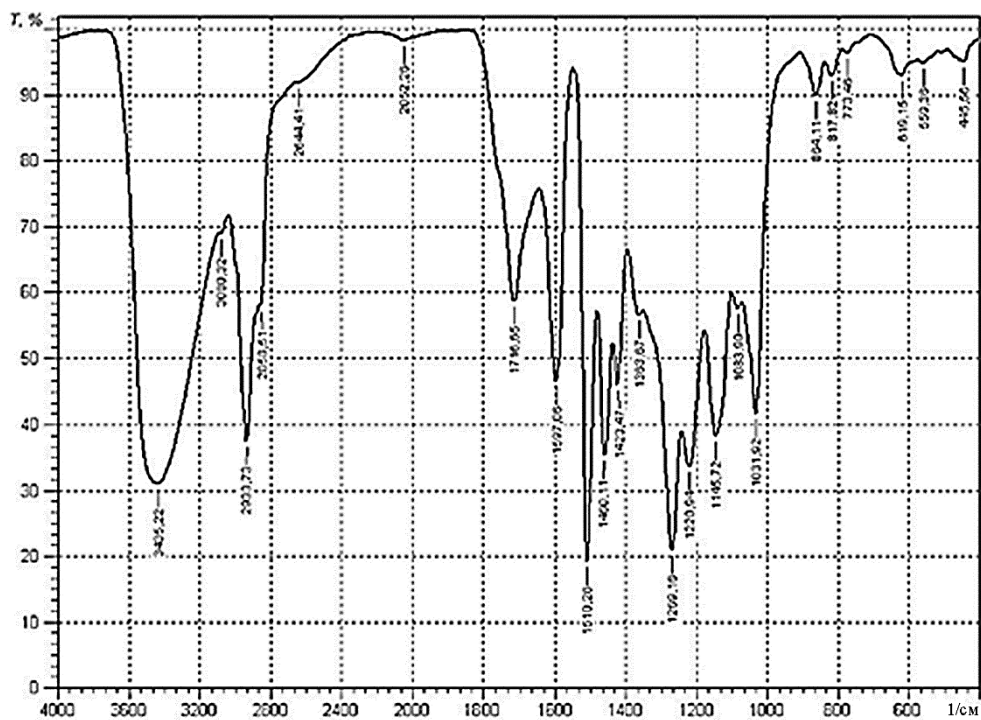


Рис. 4. ИК-спектр лигнина ДЛ-П

Таблица 1

## Гидродинамические характеристики фракций ДЛ-П

| № фракции | $W_i \cdot 10^2$ | $[\eta]$ ,<br>см <sup>3</sup> /г | $D \cdot 10^7$ ,<br>см <sup>2</sup> /с | $S \cdot 10^{13}$ ,<br>с | $M_{SD} \cdot 10^{-3}$ | $M_{D\eta} \cdot 10^{-3}$ | $k_x$ | $A_0 \cdot 10^{10}$ ,<br>эрг · К <sup>-1</sup> · моль <sup>-1/3</sup> |
|-----------|------------------|----------------------------------|--|--------------------------|------------------------|---------------------------|-------|---|
| 1         | 18,0             | 9,5                              | 6,5                                    | 3,4                      | 33,0                   | 22,0                      | 1,26  | 2,6   |
| 2         | 19,8             | 6,1                              | 7,1                                    | 2,2                      | 19,7                   | 26,3                      | 1,31  | 2,0   |
| 3         | 16,3             | 6,0                              | 9,5                                    | 1,7                      | 11,5                   | 11,2                      | 0,70  | 2,2   |
| 4         | 17,5             | 5,7                              | 10,7                                   | 1,5                      | 8,6                    | 8,2                       | 0,69  | 2,3   |
| 5         | 5,8              | 5,3                              | 11,2                                   | 1,2                      | 7,0                    | 7,7                       | 1,02  | 2,2   |
| 6         | 2,5              | 5,6                              | 11,4                                   | 1,1                      | 5,9                    | 6,9                       | 0,65  | 2,1   |
| 7         | 3,4              | 5,1                              | 12,3                                   | –                        | –                      | 6,0                       | 0,84  | –   |
| 8         | 16,7             | 4,8                              | 14,5                                   | –                        | –                      | 3,9                       | 0,60  | –   |

В табл. 1 приведены гидродинамические характеристики фракций ДЛ-П. Значения характеристической вязкости  $[\eta]$ , коэффициентов поступательной диффузии и скоростной седиментации ( $S$ ) представляют собой набор базовых экспериментальных данных, на основе которых рассчитывают молекулярные массы ( $M_{SD}$ ,  $M_{D\eta}$ ), и коэффициент Хаггинса  $k_x$ , инвариант ( $A_0$ ), а также индексы Марка–Куна–Хаувинка ( $b_i$ ) исследуемого биополимера.

По результатам фракционирования и исследования фракций вычислены: средние молекулярные массы  $M_w = 14,6 \cdot 10^3$  и степень полидисперсности  $M_w/M_n = 1,62$ .

Для получения данных о форме клубка и плотности упаковки макромолекулы рассчитывают корреляционные соотношения между  $[\eta]$ ,  $D$ ,  $S$  и молекулярной массой  $M$  в виде степенных уравнений типа Марка–Куна–Хаувинка:

$$\lg C_i = \lg K_i + b_i \lg M,$$

где  $C_i = [\eta]$ , или  $D$ , или  $S$ ;

$K_i$  – коэффициенты уравнений Марка–Куна–Хаувинка;

$b_i$  – индексы Марка–Куна–Хаувинка (соответственно  $b_\eta$ ,  $b_D$ ,  $b_S$ );

$M$  – молекулярная масса.

Как показывает анализ, логарифмические зависимости  $[\eta]$ ,  $S$ ,  $D$  от молекулярных масс  $M_{SD}$  и  $M_{D\eta}$  аппроксимируются прямыми линиями с коэффициентом корреляции не менее  $R = 0,9$ . Результаты обработки данных представлены в табл. 2.

Сравнение индексов показывает выполнимость соотношения

$$(1 - b_S) = |-b_D| = 1/3(b_\eta + 1).$$

Установление подобных корреляций  $b_\eta$ ,  $b_D$ ,  $b_S$  позволяет подтвердить предположение о масштабной инвариантности макромолекул, т.е. полимергомологичности фракций. Поскольку зависимости гидродинамических характеристик  $[\eta]$ ,  $S$  и  $D$  от молекулярных масс  $M_{SD}$  и  $M_{D\eta}$  для исследуемых

Таблица 2

## Параметры уравнения Марка–Куна–Хаувинка для системы ДЛ-П–ДМФА

| Характеристика     | $b_\eta$ | $b_S$ | $-b_D$ | $\Delta b_i$ | $K_\eta$            | $K_S$                | $K_D$               |
|--------------------|----------|-------|--------|--------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| $[\eta]-M_{SD}$    | 0,28     | –     | –      | 0,08         | $4,4 \cdot 10^{-3}$ | –                    | –                   |
| $[\eta]-M_{D\eta}$ | 0,25     | –     | –      | 0,08         | $6,0 \cdot 10^{-3}$ | –                    | –                   |
| $S_0-M_{SD}$       | –        | 0,64  | –      | 0,03         | –                   | $4,4 \cdot 10^{-16}$ | –                   |
| $S_0-M_{D\eta}$    | –        | 0,66  | –      | 0,16         | –                   | $3,5 \cdot 10^{-16}$ | –                   |
| $D_0-M_{SD}$       | –        | –     | 0,36   | 0,03         | –                   | –                    | $2,8 \cdot 10^{-5}$ |

дуремых лигнинов носят прямолинейный характер и корреляционные соотношения, приведенные выше, выполняются, то можно утверждать, что все макромолекулы лигнина, независимо от размеров, топологически подобны, т.е. соблюдается универсальный для полимеров принцип скейлинга. Это означает, что полученные результаты могут быть использованы для суждений и выводов о конформации и конфигурации макромолекул.

Известно [6], что линейные и звездообразные макромолекулы в  $\Theta$ -растворителе находятся в конформации гауссова клубка, а  $b_\eta = 0,50$ . Макромолекула в конформации сферы Энштейна характеризуется индексом  $b_\eta = 0$ . Жесткоцепные полимеры (лестничные, гребнеобразные) в конформации протекаемых клубков отличаются повышенным значением индекса  $b_\eta$ , достигающим 1,00...1,70. Для хаотически разветвленных макромолекул типично  $b_\eta = 0,25$ .

Для исследуемой системы ДЛ-П–ДМФА скейлинговый индекс  $b_\eta = 0,28 \pm 0,08$  (если для расчетов выбрать пару  $[\eta] - M_{SD}$ ) и  $b_\eta = 0,25$  (если выбрать  $[\eta] - M_{D\eta}$ ), что, в принципе, одно и то же. Диффузионный индекс системы  $|b_D| = 0,36$ , что также значительно ниже «критического» значения (для линейных и звездообразных полимеров  $|b_D| \geq 0,50$ ). Таким образом, скейлинговые индексы для образца ДЛ-П однозначно отвечают значениям, типичным для хаотически разветвленных полимеров.

Согласно полученным данным, скейлинговые индексы для образца ДЛ-П практически совпадают с найденными при исследовании лигнинов других хвойных древесных растений (сосна, лиственница, ель [2, 7]). Необходимо отметить, что топологические структуры диоксанлигнинов и лигнинов механического размола, считающихся в настоящее время наиболее близкими к природному, практически не отличаются. По данным Павлова с сотр. [4], скейлинговые индексы для лигнина молотой древесины *Pinus silvestris* составляют:  $b_\eta = 0,28 \pm 0,06$ ;  $b_S = 0,60 \pm 0,04$ ;  $b_D = -0,41 \pm 0,04$ ; диоксанлигнины, выделенные из этой древесины, имеют [1]:  $b_\eta = 0,26 \pm 0,01$ ;  $b_S = 0,57 \pm 0,03$ ;  $b_D = -0,43 \pm 0,02$ . Эти результаты свидетельствуют об идентичности топологии макромолекул лигнинов, выделенных различными методами. Анализ экспериментальных результатов дает основания полагать, что макромолекулы

лигнина, выделенного из древесины пихты, относятся к классу хаотически разветвленных полимеров.

Предположение о разветвленности макромолекул ДЛ-П подтверждается значениями инварианта  $A_0$ , которые находятся в интервале  $(2,0...2,6) \cdot 10^{-10}$  эрг·К<sup>-1</sup>·моль<sup>-1/3</sup> (см. табл. 1). Небольшие значения параметра  $A_0$  (менее  $3,2 \cdot 10^{-10}$  эрг·К<sup>-1</sup>·моль<sup>-1/3</sup>) обусловлены разветвленностью макромолекул полимеров, что подтверждается и достаточно низкими значениями характеристической вязкости  $[\eta]$ . Как правило, у линейных полимеров  $[\eta]$  существенно выше, у сетчатых значительно ниже, чем в данной работе.

Еще один признак разветвленности макромолекул исследуемого полимера – непостоянство значений коэффициента  $k_x$  (табл. 1). Известно [6], что для полимеров линейного строения в  $\Theta$ -растворителях  $k_x = 0,5$ , в термодинамически хороших растворителях  $k_x = 0,2...0,3$ . Вместе с тем, результаты исследования синтетических полимеров с разветвленной топологической структурой макроцепей свидетельствуют о сильной вариабельности значений  $k_x$ , что и наблюдается в нашем случае.

Таким образом, при изучении поведения макромолекул диоксанлигнина, выделенного из ксилемы пихты *Abies sibirica*, в разбавленных растворах методами молекулярной гидродинамики подтверждена гипотеза о хаотически разветвленной структуре макромолекул пихтового лигнина.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование физико-химических свойств лигнинов из древесины сосны и акации / А.П. Карманов [и др.] // Лесн. журн. 2003. № 5. С. 93–102. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Карманов А.П., Беляев В.Ю. Исследование топологической структуры лигнина // Лесн. журн. 1999. № 6. С. 85–92. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Карманов А.П. К вопросу о концепции топологической структуры лигнина // Химия и технология растительных веществ: тр. Коми НЦ УрО РАН. 2003. № 171. С. 21–31.
4. Молекулярные характеристики фракций лигнина молотой древесины/Г.М. Павлов, Н.А. Михайлова, В.Ю. Беляев, В.Н. Сюткин // Журн. прикл. химии. 1995. Т. 68, № 2. С. 316–320.
5. Свойства растворов и конформационные характеристики макромолекул диоксанлигнинов / А.П. Карманов [и др.] // Лесн. журн. 2007. № 4. С. 112–120. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Твердохлебова И.И. Конформация макромолекул. М.: Химия, 1981. 284 с.
7. Физическая химия лигнина: моногр./ К.Г. Боголицын [и др.]; под ред. К.Г. Боголицына и В.В. Лунина. Архангельск: Изд-во. АГТУ, 2009. 489 с.
8. Pepper J.M., Baylis P.E., Adler E. The isolation and properties of lignin obtained by the acidolysis of spruce and aspen woods in dioxane-water// Canad. J. Chem. 1959. Vol. 37, N 8. P. 1241.

Поступила 02.02.12



*A.P. Karmanov*<sup>1</sup>, *L.S. Kocheva*<sup>2</sup>, *V.Yu. Belayev*<sup>3</sup>, *O.S. Brovko*<sup>4</sup>, *Yu.S. Ovodov*<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biology, Komi Scientific Centre,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Syktyvkar State University

<sup>3</sup>Institute of Chemistry, Komi Scientific Centre,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

<sup>4</sup>Institute of Ecological Problems of the North,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

<sup>5</sup>Institute of Physiology, Komi Scientific Centre,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

**Lignin of *Abies sibirica* Xylem. Study of Macromolecule Structure by Means of Molecular Hydrodynamics**

By means of sedimentation velocity, translational diffusion and viscometry, hydrodynamic properties of *Abies sibirica* lignin solutions were examined. Scaling characteristics of Mark-Kuhn-Houwink relationships as well as hydrodynamic invariants were determined. Interrelation between hydrodynamic and conformational properties of lignin samples was considered.

*Key words:* lignin, hydrodynamic properties, conformation, topological structure, scaling

---

УДК 676.032

**Г.Е. Коротаяев, Ю.В. Севастьянова, Н.Н. Фетюкова**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Коротаяев Георгий Евгеньевич родился в 1988 г., окончил в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры ТЦБП ИТиПХ САФУ, мастер смены сушильного цеха ОАО «Соломбальский ЦБК». Имеет 2 публикации по теме диссертационной работы.

E-mail: g.korotayev@mail.ru



Севастьянова Юлия Вениаминовна окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры ТЦБП ИТиПХ Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 30 работ в области различных способов делигнификации древесины.

E-mail: y-sevastyanova@yandex.ru



Фетюкова Наталья Николаевна окончила в 2011 г. Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, аспирант кафедры ТЦБП ИТиПХ САФУ.

E-mail: fetyukova2012@yandex.ru



## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-РАЗМЕРНЫХ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СУЛЬФАТНОЙ НЕБЕЛЕННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ НОРМАЛЬНОЙ, УСЫХАЮЩЕЙ И СУХОСТОЙНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ**

Исследованы фундаментальные свойства и структурно-размерные характеристики волокон образцов целлюлозы, полученных из здоровой, усыхающей и сухостойной древесины ели, произрастающих в одинаковых условиях. Установлено, что выход полуфабриката из сухостойной древесины на 2 % ниже. Основные структурно-размерные характеристики волокон отличаются незначительно, большая грубость волокон целлюлозы из сухостойной древесины обусловлена замедленными процессами делигнификации.

*Ключевые слова:* усыхание лесов, Архангельская область, сульфатная целлюлоза, сухостойная древесина ели, структурно-размерные характеристики волокна, фундаментальные свойства целлюлозы.

Один из ведущих лесопромышленных регионов России – Архангельская область – по запасам древесины занимает второе место в Северо-Западном федеральном округе. Общая площадь эксплуатационных лесов области составляет 19,8 млн га с запасом древесины 2,6 млрд м<sup>3</sup>, при этом на долю хвойных насаждений приходится 81 %, из которых более 67 % – ель.

В последнее десятилетие на территории области выявлено интенсивное усыхание еловых насаждений, являющихся одной из основных лесообразующих пород в регионе, что затрагивает сырьевую базу многих предприятий.

Усыхание ельников, начавшееся в междуречье Северной Двины и Пинеги и распространившееся уже на значительную территорию, является одной из важнейших проблем лесного комплекса области, связанных с резким снижением качества древесины, трудностями при отводе лесосек, усложнением арендных отношений и др.

Летом 2002 г. площадь очага усыхания ориентировочно оценивалась в 250 тыс. га, по итогам лесопатологического обследования 2005 г., проведенного московскими специалистами, эта цифра увеличилась до 1,5 млн га. На данный момент площадь очага уже превысила 2 млн га.

Причиной ослабления и усыхания еловых насаждений следует считать комплекс неблагоприятных факторов на фоне высокого возраста деревьев. Начало усыхания ельников связывается с жарким и засушливым летом 1997 г.. Количество осадков за вегетационный период (по данным метеостанций Березника, Верхней Тоймы, Карпогор) было почти в 2 раза ниже средних многолетних. Ухудшению санитарного состояния массивов способствовал снеголом деревьев зимой 2001–2003 гг. Кроме того, существенное влияние на санитарное состояние насаждений оказала технология заготовки древесины. Резкое ослабление насаждений привело к вспышке массового размножения стволовых вредителей. Перестойные деревья часто заражены грибными болезнями (еловая губка, окаймленный трутовик, еловый комлевой трутовик) [1, 2].

Считается, что заготовка сухой древесины нерентабельна. На различных уровнях неоднократно поднимались вопросы переработки усохшей древесины на месте в древесностружечные плиты, пеллеты, топливные брикеты. Предложение использовать усыхающую и сухостойную древесину в качестве сырья для ЦБП позволит решить вопрос загруженности лесозаготовительных предприятий, находящихся на территории усыхания лесов [6].

Из литературных источников известно, что для производства небеленой сульфатной целлюлозы можно использовать сухостойную сосновую древесину. Добавка до 30 % поврежденной гнилями фаутной древесины к основному сырью не приводит к потере качества продукции [4, 5].

Цель наших исследований – исследование и сравнение структурно-размерных и фундаментальных характеристик сульфатной небеленой целлюлозы, полученной из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины.

Решаемые в ходе этих исследований задачи:

изучение влияния качества древесины на выход и число каппа хвойной сульфатной целлюлозы;

сравнение структурно-размерных и фундаментальных характеристик образцов целлюлозы, полученных из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины;

исследование влияния добавки сухостойной древесины на свойства хвойной сульфатной небеленой целлюлозы.

Кроме того, представляло интерес исследовать целлюлозу, полученную из вершины, середины и комля ствола.

При поддержке департамента лесного комплекса Архангельской области были получены образцы нормальной, усыхающей и сухостойной древесины елей, произрастающих на одной делянке при одинаковых условиях.

В производственных условиях ОАО «Архангельский ЦБК» были получены образцы щепы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины. Щепу фракционировали по ГОСТ 15815–83, для варки использовали смесь фракций (сита № 10 и № 20). Для предотвращения влияния факторов варки на выход и свойства получаемой целлюлозы был выбран одинаковый режим варки. В ходе эксперимента получены образцы целлюлозы с различным числом каппа (24...32).

Результаты (средние значения) исследований, представленные в табл. 1, свидетельствуют, что выход целлюлозы из здоровой древесины по всей длине ствола примерно на 2 % больше, чем из усыхающей и сухостойной. Необходимо выделить различную избирательность процесса делигнификации здоровой и поврежденной древесины: число Каппа образцов целлюлоз, полученных из усыхающей древесины, на 4,0...7,0 % выше (исключение низ ствола), а для образцов целлюлозы из сухостойной древесины эта разница составляет 10,0...14,5 %.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что для использования сухостойной и усыхающей древесины ели в производственных условиях необходимо оптимизировать условия варки, поскольку процессы делигнификации перестойной древесины протекают медленнее.

На следующем этапе эксперимента были определены основные структурно-размерные характеристики и фундаментальные свойства полученных образцов целлюлозы до размола и при заданной степени помола 30 °ШР (табл. 2).

Как видно из данных табл. 2, наибольшей длиной волокна  $l_{cp}$  обладают образцы целлюлозы из здоровой древесины, ширина  $b_{cp}$  и грубость  $\Gamma$  волокон у всех образцов практически одинаковы.

Таблица 1

**Влияние качества древесины на результаты варки сульфатной целлюлозы**

| Древесина   | Часть ствола | Число Каппа | Выход, %      |       |
|-------------|--------------|-------------|---------------|-------|
|             |              |             | сортированной | общий |
| Нормальная  | Верх         | 27,4        | 50,9          | 51,3  |
|             | Середина     | 28,1        | 50,5          | 51,0  |
|             | Низ          | 28,5        | 51,1          | 51,4  |
| Усыхающая   | Верх         | 28,5        | 48,3          | 49,7  |
|             | Середина     | 29,2        | 49,2          | 50,8  |
|             | Низ          | 32,3        | 50,6          | 52,1  |
| Сухостойная | Верх         | 24,9        | 48,4          | 49,0  |
|             | Середина     | 26,4        | 48,7          | 49,1  |
|             | Низ          | 28,6        | 50,0          | 51,6  |

Таблица 2

## Изменение структурно-размерных характеристик волокон сульфатной целлюлозы

| Древесина   | Часть ствола | $l_{cp}$ , мм |          | $b_{cp}$ , мкм |          | $F_{\phi}$ , % |          | $\Gamma$ , дг |          |
|-------------|--------------|---------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|---------------|----------|
|             |              | до размола    | $\Delta$ | до размола     | $\Delta$ | до размола     | $\Delta$ | до размола    | $\Delta$ |
| Нормальная  | Верх         | 2,76          | -16,7    | 32,0           | -6,2     | 90,00          | -0,1     | -             | -16,2    |
|             | Середина     | 2,87          | -11,5    | 31,8           | -3,4     | 91,50          | -1,7     | 82,9          | -18,0    |
|             | Низ          | 2,90          | -0,3     | 32,0           | -5,2     | 90,17          | -0,6     | 71,5          | -6,1     |
| Усыхающая   | Верх         | 2,40          | -6,3     | 31,0           | -3,6     | 90,23          | 0,1      | 76,8          | -15,1    |
|             | Середина     | 2,42          | -1,2     | 31,7           | -1,7     | 92,17          | -1,3     | 77,4          | -6,1     |
|             | Низ          | 2,57          | -7,0     | 31,9           | -1,7     | 89,60          | 0,6      | 75,2          | -2,5     |
| Сухостойная | Верх         | 2,63          | -8,5     | 31,3           | -1,3     | 90,07          | -1,2     | 70,2          | -0,3     |
|             | Середина     | 2,53          | -5,1     | 32,5           | -4,0     | 89,10          | -0,1     | 65,2          | -0,9     |
|             | Низ          | 2,75          | -9,1     | 33,5           | -3,7     | 89,50          | -0,2     | 101,0         | -0,5     |

Необходимо отметить, что наибольшие изменения структурно-размерных характеристик волокна при размоле характерны для целлюлозы, полученной из нормальной древесины, в то время как для целлюлозы из усыхающей и сухостойной древесины данные характеристики в процессе размола изменяются в меньшей степени. Грубость волокон целлюлозы из сухостойной древесины в процессе размола практически не меняется.

Результаты определения собственной прочности волокна  $L_0$  и сил связи  $F_{cb}$  между волокнами представлены в табл. 3. Повышенной прочностью обладают волокна, полученные из средней и нижней частей стволов для всех образцов древесины, при этом собственная прочность волокон целлюлозы из сухостойной древесины не ниже, чем у волокон из нормальной древесины.

Таблица 3

## Изменение фундаментальных свойств волокон сульфатной целлюлозы

| Древесина   | Часть ствола | $L_0$ , м | $F_{cb}$ , МПа | $\rho^*$ , кг/см <sup>3</sup> |
|-------------|--------------|-----------|----------------|-------------------------------|
| Нормальная  | Верх         | 18 500    | 2,29           | 0,708                         |
|             | Середина     | 18 500    | 2,49           | 0,707                         |
|             | Низ          | 16 600    | 2,14           | 0,699                         |
| Усыхающая   | Верх         | 15 900    | 1,51           | 0,730                         |
|             | Середина     | 16 300    | 1,85           | 0,730                         |
|             | Низ          | 14 900    | 1,64           | 0,748                         |
| Сухостойная | Верх         | 15 700    | 1,07           | 0,706                         |
|             | Середина     | 18 250    | 1,27           | 0,709                         |
|             | Низ          | 18 000    | 1,40           | 0,727                         |

\* Плотность

Таблица 4

**Влияние добавки сухостойной древесины на структурно-размерные характеристики волокон сульфатной целлюлозы**

| Соотношение нормальной и сухостойной древесины в щепе | $l_{\text{ср}}$ , мм |          | $b_{\text{ср}}$ , мкм |          | $F_{\text{ф}}$ , % |          | $\Gamma$ , дг |          |
|---|----------------------|----------|-----------------------|----------|--------------------|----------|---------------|----------|
|   | до размола           | $\Delta$ | до размола            | $\Delta$ | до размола         | $\Delta$ | до размола    | $\Delta$ |
| 0/100   | 2,87                 | -11,5    | 31,8                  | -3,4     | 91,50              | -1,7     | 82,9          | -18,0    |
| 25/75   | 2,55                 | -5,9     | 30,2                  | -3,0     | 89,24              | -0,1     | 52,9          | -46,3    |
| 50/50   | 2,57                 | -2,7     | 31,2                  | -1,0     | 89,92              | -0,1     | 66,8          | -29,3    |
| 75/25   | 2,56                 | -9,1     | 30,8                  | -2,6     | 90,31              | -0,1     | 54,5          | -35,4    |
| 100/0   | 2,53                 | -5,1     | 30,5                  | -4,0     | 89,10              | -0,1     | 65,2          | -10,9    |

В ходе эксперимента установлено, что наибольшей способностью к образованию межмолекулярных сил связи обладают образцы целлюлозы из нормальной древесины, при этом значения характеристики одинаковы для образцов целлюлозы, полученной из всех частей ствола. Межмолекулярные силы связи для нормальной и сухостойной древесины значительно различаются по высоте ствола: разница для верха и середины ствола составляет 50 %, в то время как у всех образцов целлюлозы  $F_{\text{св}}$  для низа ствола находится примерно на одном уровне.

На последнем этапе необходимо было оценить влияние добавки сухостойной древесины ели на свойства сульфатной целлюлозы (табл. 4). Установлено, что минимальная добавка сухостойной древесины (25 %) к нормальной приводит к существенному снижению основных структурно-размерных характеристик (длины и ширины) волокна.

Наибольшей грубостью обладают волокна сухостойной древесины, разница между этим образцом и образцами, полученными с добавлением сухостойной древесины, составляет 20...30 %, но после размола значения данного показателя выравниваются и остаются для всех образцов на одном уровне.

Таблица 5

**Влияние добавки сухостойной древесины на фундаментальные свойства волокон сульфатной целлюлозы**

| Соотношение нормальной и сухостойной древесины в щепе | $L_0$ , м | $F_{\text{св}}$ , МПа | $\rho$ , кг/см <sup>3</sup> |
|---|-----------|-----------------------|-----------------------------|
| 0/100   | 18 500    | 2,494                 | 0,707                       |
| 25/75   | 16 200    | 2,081                 | 0,707                       |
| 50/50   | 15 150    | 1,682                 | 0,681                       |
| 75/25   | 14 300    | 1,931                 | 0,691                       |
| 100/0   | 16 250    | 1,265                 | 0,709                       |

В табл. 5 представлены результаты определения основных фундаментальных свойств целлюлозы, полученной из древесины различного качества. Установлено, что собственная прочность волокон целлюлозы из нормальной древесины значительно (на 4000 м) выше, чем из 100 % сухостойной древесины. Добавление сухостойной древесины в сырье приводит к существенному снижению межволоконных сил связи, причем разница между показателями целлюлозы из здоровой и сухостойной древесины составляет 50 %, что свидетельствует о возможности возникновения сложностей при дальнейшей переработке целлюлозы из смеси здоровой и сухостойной древесины.

#### *Выводы*

1. При одинаковых условиях варки выход сульфатной целлюлозы, полученной из усыхающей и сухостойной древесины ели, на 2 % ниже, чем из нормальной древесины, при этом число Каппа на 10...5 % выше.

2. Структурно-размерные характеристики волокон сульфатной целлюлозы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели различаются незначительно.

3. При размоле до 30 °ШР существенные изменения претерпевает длина волокон целлюлозы из нормальной древесины (до 16 %). Структурно-размерные характеристики волокон целлюлозы из сухостойной и усыхающей древесины в ходе размола изменяются незначительно.

4. Добавка сухостойной древесины к нормальной существенно снижает способность волокон целлюлозы к связеобразованию и их собственную прочность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варфоломеев, Ю.А. Использование еловой древесины с биологическими поражениями // Лесн. журн. 2005. № 4. С. 151–153. (Изв. высш. учеб. заведений).

2. Варфоломеев, Ю. А. Перспективы обработки биоповрежденной древесины защитными препаратами // Деревообраб. пром-сть. 2006. № 1. С. 19–21.

3. Воронин В.В. Усыхающие ельники Архангельской области, проблемы и пути их решения: сб. ст. Архангельск: Департамент лесного комплекса Архангельской области; Центр защиты леса Архангельской области, 2007.

4. Матюшкина А.П., Агеева М.И. Свойства древесины и целлюлозы из сухостоя сосны // Физико-химические исследования древесины и ее комплексное использование. Петрозаводск: Изд-во Карельского филиала АН СССР, Институт леса, 1978. С. 24–36.

5. Ушаков И.И. Использование пораженной гнилью сосновой древесины при выработке сульфатной целлюлозы // Целлюлоза, бумага, картон. 1971. №7. С. 9–11.

6. Федоров И. Усыхает 10 % лесов Архангельской области! //ЛесПромИнформ. 2005. №8 (30). С. 42–44.

Поступила 07.02.12

*G.E. Korotaev, Ju.V. Sevastyanova, N.N. Fetyukova*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**Study of the Structure-Dimensional and Fundamental Properties of Unbleached Sulphate Pulp Obtained from Normal, Dying and Dead Spruce**

The paper studies fundamental properties and structure-dimensional characteristics of pulp fibers obtained from healthy, dying and dead spruce growing under the same conditions. The research showed that yields of semi-finished products from dead wood are 2% lower. The basic structural and dimensional characteristics of the fibers differ only slightly; increased roughness of pulp fibers from dead wood is explained by slow progress of delignification. When using defective spruce as a raw material for pulp production, cooking modes must be optimized depending on its proportion in the raw material.

*Key words:* Arkhangelsk region drying forests, sulphate pulp, dead spruce wood, structure-dimensional fiber characteristics, fundamental properties of pulp.

---





КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 676.012.1-50

**В.П. Сиваков, И.А. Партин**

Уральский государственный лесотехнический университет

Сиваков Валерий Павлович родился в 1942 г., окончил в 1971 г. Уральский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 200 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования лесопромышленного комплекса.  
E-mail: sivakov@usfeu.ru



Партин Илья Александрович родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Уральский государственный лесотехнический университет, старший преподаватель УГЛТУ. Имеет 15 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования лесопромышленного комплекса.  
E-mail: metod@usfeu.ru



**КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СИЛЫ ПРОЦЕССА ВЫГРУЗКИ СУСПЕНЗИИ ИЗ ПИТАТЕЛЯ**

Представлена модель для расчета вынужденных колебаний системы выгрузки суспензии из питателя от кинематических сил.

*Ключевые слова:* питатель, выгрузка, суспензия, кинематика, силы.

При выгрузке суспензии из канала ротора питателя высокого давления (ПВД) почти весь щелок фильтруется через сито и вновь перекачивается в питательную трубу.

Начало выгрузки канала ротора характеризуется следующими параметрами находящейся в нем суспензии щепы–щелок (СЩЩ): коэффициент заполнения канала технологической щепой 0,7 ... 0,8, плотность технологической щепы 1000... 1100 кг/м<sup>3</sup>; плотность щелока 1040...1060 кг/м<sup>3</sup>; гидромодуль 4,5 ...7,0 дм<sup>3</sup>/кг. Следовательно, канал ротора перед выгрузкой почти полностью заполнен пробкой из пропитанной щелоком технологической щепы. В начале цикла выгрузки есть участок  $l_2/2$  (рис.1, а), где через малое поперечное сечение отверстия канала проникает в основной щелок. Дальнейший поворот ротора приводит к тому, что пробка из технологической щепы начинает перекрывать отверстие канала со стороны подачи щелока высокого давления. Сила избыточного давления щелока выталкивает пробку из канала ротора в трубопровод – участок  $l_1$ . Благодаря сцеплению частиц щепы с щелоком и равной плотности этих сред трение между ними, а также разрушение

пробки незначительны. Пробка из технологической щепы сохраняет в трубопроводе свою структуру (гидромуль близок к гидро модулю в канале ротора). По окончании цикла выгрузки через малое поперечное сечение отверстия канала ротора протекает поток щелока высокого давления. Объем щелока, проходящего за цикл выгрузки через канал ротора, значительно (на порядок) больше объема пробки технологической щепы. Большой расход щелока, подаваемого в канал ротора при выгрузке, объясняется необходимостью увеличения гидро модуля (от 4,5...7,0 до 28,0...30,0  $\text{дм}^3/\text{кг}$ ) для обеспечения нормального транспортирования СЩЩ в трубопроводе. По этой причине в трубопроводе чередуются пробки из технологической щепы и зоны из щелока. Пробки из технологической щепы обладают сжимаемостью, упругостью и диссипативными свойствами, что не характерно для щелока. Щелок можно рассматривать как жидкость, близкую к идеальной, несжимаемой. Цикличность операций выгрузки щепы из каналов ротора в сочетании со сжимаемостью пробок щепы, расположенных между несжимаемыми зонами щелока, сопровождается колебаниями системы пробка щепы–зона щелока. Колебания этой системы вызываются не заданными силами, а возникают периодически из-за цикличности выгрузки каналов ротора ПВД. Элементы системы пробка щепы–зона щелока (рис. 1, б) приводятся потоком в движение по полусинусоидальному закону, такое возмущение элементов системы называется кинематическим [1]. Модель для расчета вынужденных колебаний системы пробка щепы–зона щелока от сил кинематического возбуждения приведена на (рис.1, в).

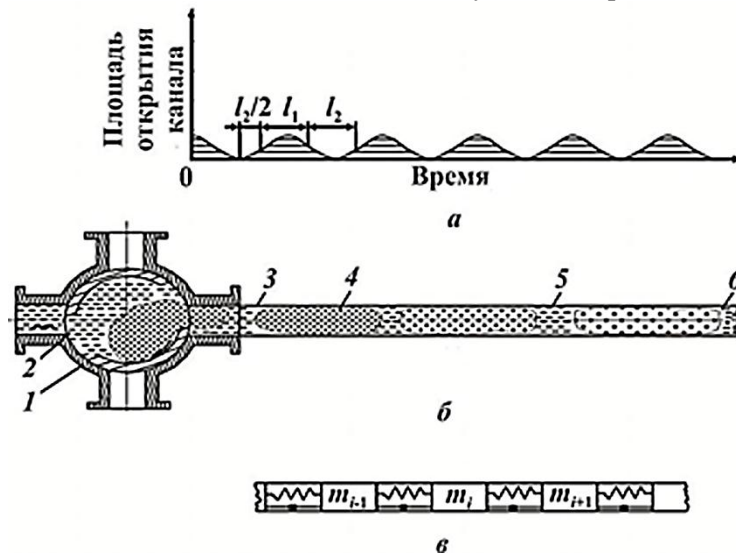


Рис. 1. Схема выгрузки суспензии: а – циклограмма выгрузки каналов; б – фрагмент циркуляции котла и разрушение пробок щепы в трубопроводе; в – расчетная модель системы из чередующихся пробок щепы и зон щелока в трубопроводе; 1 – ротор; 2 – корпус; 3 – трубопровод; 4 – пробка щепы; 5 – зона щелока; б – суспензия равномерной концентрации

В модели принято, что зоны щелока несжимаемы. Поскольку объем и масса зон на порядок больше объема и массы пробки щепы, в модели пробки щепы рассматриваются как безмассовые, обладающие жесткостью и силами трения. Масса пробок щепы равномерно распределена между рядом расположенными зонами щелока.

Приведенная на (рис. 1, в) модель учитывает как внешнее, так и внутреннее трение. Дифференциальные уравнения свободных колебаний системы с вязким внутренним и внешним трением имеют следующий вид [1]:

$$m_i \ddot{X}_i + \alpha_i \dot{X}_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (\dot{X}_i - \dot{X}_j) + \sum_{j=1}^n r_{ij} X_j = 0; i = 1, 2, \dots, n; r = 1, 2, \dots, k; r \neq i, \quad (1)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го элемента системы;

$X_j, X_i, \dot{X}_i, \ddot{X}_i$  – перемещение, скорость и ускорение  $j$ - и  $i$ -го элементов;

$\alpha_i, \alpha_{ij}$  – коэффициенты внешнего вязкого трения  $i$ -го элемента и внутреннего вязкого трения между элементами  $i, j$  соответственно.

Из решения (1) определяем комплексные частоты свободных колебаний системы. Запишем дифференциальные уравнения вынужденных гармонических колебаний системы по методу комплексных амплитуд:

$$m_i \ddot{X}_i + \alpha_i \dot{X}_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (\dot{X}_i - \dot{X}_j) + \sum_{j=1}^n r_{ij} X_j = F_i(t), \quad (2)$$

где  $F_i(t)$  – возмущающая сила по направлению  $x_c$ .

Решив уравнение (2), получим значения амплитуд и фаз колебаний всех масс системы. При изменении процесса выгрузки пробок щепы в трубу из органического (прозрачного) стекла визуально было установлено, что в потоке первые пробки щепы и чередующиеся с ними зоны щелока сохраняют свою форму и размеры. Рассредоточивание пробки щепы в щелоке происходит у четвертой (реже пятой) от ротора пробки (см. рис.1, а). Принимаем, что в канале трубопровода, при постоянной частоте вращения ротора исправно работающего ПВД, пробки щепы имеют практически равные массы, плотность и размеры, как и зоны щелока между пробками щепы ( $m_1 = m_2 = m_3 = m_4$ ). Считаем, что  $m_4 \neq m$  из-за диспергирования четвертой пробки щепы в щелоке. Модель расчетной системы представим в виде зон щелока одинаковых параметров, связанных между собой одинаковыми жесткостями безмассовых пробок щепы (рис. 2). Диссипативными свойствами пробок щепы пренебрегаем.

Задачу о кинематическом возбуждении перемещений расчетной модели системы сводим к задаче о силовом возмущении. Считаем, что перемещение  $m_j$  массы определяется зависимостью

$$X_j = f(t). \quad (3)$$

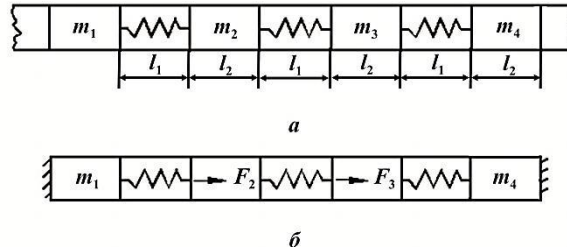


Рис. 2. Расчетная модель системы пробка щелы – зона щелока: *а* – схема модели, *б* – схема к расчету ее движения

Для перемещения точки  $j$  безмассовой системы к ней следует приложить силу  $F_j^{(1)} = \frac{f(t)}{\delta_{jj}}$ . Другие точки системы при этом получают перемещения

$$X_i^{(1)} = f(t) \frac{\delta_{ij}}{\delta_{jj}}; \quad i \neq j, \quad (4)$$

где  $f(t)$  – заданное перемещение точки  $j$  системы;

$\delta_{ij}, \delta_{jj}$  – передаточные функции, аналогичные коэффициентам влияния метода сил в строительной механике.

Для реальной системы с массами, при движении которых возникают силы инерции, перемещения точек системы запишем в виде

$$X_i = X_i^{(1)} + X_i^{(2)}, \quad (5)$$

где  $X_i^{(2)}$  – искомые дополнительные перемещения.

Уравнение (5) удовлетворяет условию (3), если  $X_i^{(2)} = 0$ .

В соответствии с принципами Даламбера динамическое равновесие системы определяется равенством внешних и внутренних сил действующих на систему. Внешние силы состоят из сил  $F_j^{(1)} + F_j^{(2)}$ , приложенных в точке  $j$  системы, движение которой задано ( $F_j^{(2)}$  – изменение внешней силы в связи с инерцией масс системы), внутренними силами являются силы инерции масс

$$-m_i \ddot{X}_i = -m_i \ddot{X}_i^{(1)} - m_i \ddot{X}_i^{(2)}.$$

Эти силы вызывают перемещение  $X_i^{(1)} + X_i^{(2)}$ . Поскольку перемещение  $X_i^{(1)}$  происходит под действием силы  $F_j^{(1)}$ , то система перемещений  $X_i^{(2)}$  вызывается силами  $(-m_i \ddot{X}_i^{(1)}), (-m_i \ddot{X}_i^{(2)})$  и  $F_j^{(2)}$ .

Движение системы, характеризуемое перемещениями  $X_i^{(2)}$ , можно рассматривать как вынужденные колебания системы с закрепленной точкой  $j$ ,

вызываемое вынуждающими силами  $(-m_i \ddot{X}_i^{(1)})$ . При колебаниях в закрепленной точке  $j$  возникает реакция  $F_j^{(2)}$ .

Схема к расчету движения модели состоит из трех одинаковых масс и трех пружин одинаковой жесткости ( $c$ ) каждая (рис. 2, б). В начальный момент времени расчетная модель системы неподвижна и недеформирована. При выгрузке суспензии из канала ротора массе  $m_1$  сообщается перемещение:

$$X_1 = a(1 - \cos\omega t); 0 < t \leq 2\pi/\omega; X_1 = 0; t > 2\pi/\omega, \quad (6)$$

где  $X_1$  – перемещение массы  $m_1$ ;

$a$  – амплитуда перемещения массы  $m_1$ ;

$\omega$  – угловая частота выгрузки каналов ротора за один оборот.

Принимаем, что масса  $m_1$  закреплена. При движении системы в закрепленной массе  $m_1$  возникает реакция  $F_1^{(2)}$ . Дополнительные перемещения  $m_4$  от упругих сил между массами  $m_3$  и  $m_4$  принимаем пренебрежительно малыми вследствие процесса разрушения пробки и диспергирования щепы в щелоке, тогда  $X_4^{(2)} \approx 0$ . Массу  $m_4$  рассматриваем как закрепленную (рис. 2, б). Определяем собственные формы и частоты колебаний из уравнения движения элементов расчетной модели (рис. 2, б).

При движении системы как безмассовой имеем

$$X_2^{(1)} = 2/3 X_1; \quad X_3^{(1)} = 1/3 X_1^{(1)}. \quad (7)$$

При движении модели с закрепленной массой  $m_1$  под действием сил

(рис. 2, б)  $F_2 = (-m_i \ddot{X}_2^{(1)})$ ;  $F_3 = (-m_i \ddot{X}_3^{(1)})$  имеем:

если  $0 < t \leq \frac{2\pi}{\omega}$ , то

$$F_2 = -2/3 m\omega^2 a \cos\omega t; \quad F_3 = -1/3 m\omega^2 a \cos\omega t \quad (8)$$

если  $t > \frac{2\pi}{\omega}$ , то

$$F_2 = F_3 = 0. \quad (9)$$

Собственные частоты колебаний первого и второго тона определяются по формулам

$$f_1 = \sqrt{\frac{c}{m}}; \quad f_2 = \sqrt{\frac{3c}{m}}. \quad (10)$$

Собственные частоты колебаний зон щелока  $f_1$  и  $f_2$  обнаружены при измерениях вибрации эксплуатирующихся тракторов загрузочной циркуляции [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. М.: Высш. шк. 1972. 416 с.

2. Сиваков В.П. Вибрация питателя высокого давления установки непрерывной варки целлюлозы от коммутационного процесса и пути ее снижения // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: тез. докл. межд. научн.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТА, 1999. С. 117–118.

Поступила 17.01.12

*V.P. Sivakov, I.A. Partin*

The Ural State Forest Engineering University

**Kinematic Forces in the Process of Suspension Discharge from Feeder**

The paper presents a model for calculating forced oscillations of the system of suspension discharge from feeder caused by kinematic forces.

*Key words:* feeder, discharge, suspension, kinematics, forces

---

## **PAP-FOR 2012 – МЕЖДУНАРОДНАЯ ИННОВАЦИОННАЯ ПЛОЩАДКА ИНДУСТРИИ ЦБП**

С 30 октября по 2 ноября 2012 г. в С.-Петербургском выставочном комплексе «Ленэкспо» успешно прошла 12-я Международная выставка и Деловой форум по целлюлозно-бумажной, лесной, перерабатывающей, упаковочной промышленности и отрасли санитарно-гигиенических видов бумаг «Pap-For Russia 2012».

По всеобщему признанию проект «Pap-For Russia» является крупнейшей в Восточной Европе экспозицией достижений целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП), который и по своим масштабам входит в десятку наиболее значимых профильных проектов в мире. Основная традиционная цель выставки – объединение экспонентов на одной удобной площадке и представление посетителям последних инновационных разработок и достижений в технологии и оборудовании мировой ЦБП. Кроме того, в рамках выставки и форума профессиональное сообщество имеет возможность обсудить наиболее острые проблемы и предложить оптимальные современные решения и перспективы развития. На подобных многопрофильных площадках обсуждаются и заключаются многосторонние соглашения и контракты по взаимодействию в реализации новых отраслевых проектов.

В этом году значительно увеличилось число экспонентов выставки. Свою продукцию, технологии и услуги представили свыше 300 компаний, организаций и фирм более чем из 20 стран. Среди них – ведущие предприятия российской ЦБП (Архангельский ЦБК, Группа Илим, Объединенные бумажные фабрики, SFT Group, Марийский ЦБК, Гознак и др.), а также основные международные игроки на рынке отрасли (Voith, Metso, Andritz, Papcel, GLV, ABB, Siemens, Cellwood Mashinery, БКТ-Сервис, Бумтехно, Kemira, Скиф, РТА и др.). Со многими из них тесно сотрудничают ученые и специалисты института теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, который на выставке представляла делегация под руководством директора института Г.В. Комаровой. Участники делегации провели обсуждение совместных научных и образовательных программ в области технологии химической переработки древесины, производства бумаги и картона, тароупаковочной отрасли. Достигнуты предварительные договоренности с ведущими российскими компаниями об организации практик студентов и разработке программ переподготовки и повышения квалификации инженерно-технических работников и управленческого персонала предприятий. В рамках обсуждений и переговоров нашим действующим и потенциальным партнерам была предоставлена полная информация о развитии университета, включая профильные отраслевые научно-исследовательские и учебные лаборатории.

Итоги выставки «Pap-For Russia 2012» убедительно свидетельствуют в пользу открытой конкуренции на рынке целлюлозно-бумажной продукции, которая позволяет в достаточно короткие сроки занять лидирующие позиции в отдельных сегментах рынка. Актуальность лидерства для отечественных компаний значительно усилилась с момента вступления России в ВТО. Насколько успешно лидеры нашей индустрии ЦБП справятся с новыми вызовами и задачами покажет «Pap-For Russia 2014».

*Е.В. Дьякова, А.В. Гурьев*  
Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова

*E.V. Dyakova, A.V. Guryev*  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**Pap-For 2012: International Innovation Forum for Pulp and Paper Industry**

---

---





ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

**НИКОЛАЙ АЛЕКСЕЕВИЧ БАБИЧ**

27 ноября 2012 г. исполнилось 65 лет профессору, доктору сельскохозяйственных наук, заслуженному работнику высшей школы РФ Николаю Алексеевичу Бабичу.

Н.А. Бабич, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, широко известный научной и педагогической общественности как талантливый педагог и выдающийся ученый-лесовод.

Активная жизненная позиция и стремление к науке predeterminedили жизненный путь Николая Алексеевича. После окончания в 1971 г. лесохозяйственного факультета Архангельского лесотехнического института он работал младшим научным сотрудником Архангельского института леса и лесохимии, где получил богатый опыт проведения научных исследований, сформировал научно-методологическую базу.

В 1975 г. Николай Алексеевич поступил в аспирантуру Ленинградской лесотехнической академии, где соприкоснулся с академическим духом и творческим наследием одного из старейших высших учебных заведений России. В стенах академии определились его научные интересы, сформировалось окончательное отношение к лесу.

Диссертационные исследования Н.А. Бабич проводил под руководством ученого с мировым именем, профессора Г.И. Редько, который сумел привить молодому ученому стремление к познанию природы леса. Плодотворная работа завершилась успешной защитой кандидатской диссертации, а последующее сотрудничество сопровождало подготовку и защиту докторской. Николай Алексеевич является достойным учеником и успешным продолжателем научного направления Г.И. Редько.

Более 30 лет Николай Алексеевич посвятил исследованию и решению проблем восстановления тайги Европейского Севера России. Он является автором более 200 опубликованных научных трудов, среди которых учебник «Лесные культуры и защитное лесоразведение» (2008 г.), монографии, учебные пособия. Результаты его исследований нашли отражение в докторской диссертации «Лесовосстановление на Европейском Севере» (1993 г.).

Н.А. Бабич является активным популяризатором науки, его научная деятельность отмечена Почетной серебряной медалью им. В.И. Вернадского.

Он ведет большую общественную и организаторскую работу, является заместителем главного редактора «Лесного журнала» и председателя диссер-

тационного совета Д 212.008.03, активный участник научных конференций, семинаров, чтений. Много сил и внимания Николай Алексеевич отдает воспитанию молодых ученых; им создана получившая признание специалистов динамично развивающаяся научная школа. Под его руководством защитили кандидатские диссертации более двадцати аспирантов, подготовлены две докторские диссертации.

Редколлегия «Лесного журнала», коллеги, ученики поздравляют Николая Алексеевича со знаменательным событием в жизни и желают дальнейших творческих успехов в служении Отечеству и лесной науке!

*Редколлегия «Лесного журнала»,  
ректорат и коллектив лесотехнического института  
Северного (Арктического) федерального университета  
имени М.В. Ломоносова*

*Editorial Board of the "Forest Journal", Administration,  
Staff of Forestry Engineering Institute  
of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov*

**Nikolay Alekseevich Babich**

---

---

УДК 06.091

## ПРОФЕССОРУ НИКОЛАЮ ИВАНОВИЧУ БОГДАНОВИЧУ – 70 ЛЕТ

В подготовку высококвалифицированных кадров для лесохимической промышленности существенный вклад вносит научно-педагогическая школа заведующего кафедрой лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, доктора технических наук, профессора Николая Ивановича Богдановича.

Н.И. Богданович родился 13 января 1943 г. в д. Шейпичи Могилевской области Белоруссии. В юности он получил несколько рабочих специальностей, служил в рядах Советской Армии. В 1969 г. окончил Ленинградскую лесотехническую академию (ЛЛТА) и получил диплом инженера-технолога по химической переработке древесины.

В 1973 г. после окончания аспирантуры защитил в ЛЛТА диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Интенсификация процесса сушки и пиролиза крупнокусковой древесины» (специальность 05.21.04 «Процессы и технология гидролизных и лесохимических производств»). Молодой кандидат наук был приглашен на работу в Архангельский лесотехнический институт (позднее АГТУ и САФУ) на кафедру лесохимических производств, на которой он трудится и в настоящее время. Ассистент, старший преподаватель, доцент, профессор, заведующий кафедрой – таков послужной список Н.И. Богдановича.

Диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук по теме «Ресурсосбережение и повышение экологической безопасности предприятий химико-лесного комплекса с применением методов пиролиза» он защитил в 1999 г. сразу по двум специальностям (11.00.11 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»; 05.21.03 «Технология и оборудование химической переработки древесины; химия древесины»).

Научные труды Богдановича известны широкому кругу специалистов в области технологии углеродных адсорбентов и охраны окружающей среды. Он продолжает совместные работы с ведущими предприятиями отрасли и научными учреждениями (Архангельский, Соломбальский и Байкальский целлюлозно-бумажные комбинаты, Архангельский опытный водорослевый комбинат, Корпорация «Росхимзащита», АО «Карбохим» (Сявский ЛХЗ), Ашинский ЛХЗ, ЦНИЛХИ, ВНПОбумпром, ИХД Латвийской АН, БГТУ, ООО НТЦ «Химинвест», ЭНПО «Неорганика» и др.). Участвовал в реализации ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники».

Свидетельством общественного признания трудов Н.И. Богдановича является его участие в работе нескольких советов. Он – действительный член Академии проблем качества РФ, член научного совета по адсорбции

и хроматографии РАН, ученого совета ЦНИЛХИ, диссертационных советов Д 212.008.02 и Д 212.008.01 в САФУ, ученого совета ИТиПХ САФУ, чрезвычайный член международного общества биографических исследований «Who is Who» (штаб-квартира в Вене).

Под его руководством защищено 8 кандидатских диссертаций, 2 подготовлено к защите. Оппонировал докторские и кандидатские диссертации. Участвовал более чем в 30 международных конференциях и симпозиумах, из них более половины – за рубежом. Имеет более 360 научных публикаций, в том числе учебники, учебные пособия, обзоры.

Профессор Н.И. Богданович удостоен звания заслуженного работника высшей школы РФ, почетного работника высшего профессионального образования РФ, награжден медалью «Ветеран труда», знаками «Изобретатель СССР», «Отличник изобретательства», «Победитель соцсоревнования» и грамотами Администрации Архангельской области и др.

Н.И. Богданович – талантливый ученый, педагог и умелый руководитель. Возглавляемая им кафедра занимает передовые позиции, имеет высокий рейтинг. Студенты, аспиранты и коллеги относятся к нему с глубоким уважением, отмечают лекторское мастерство, строгость и требовательность, обширные знания, которыми он охотно делится. Всем, кто общается с Николаем Ивановичем, импонирует его доброжелательность, надежность и оптимизм. Он высоко ценит дружбу, искренность и отзывчивость во взаимоотношениях. Свое исключительное трудолюбие поддерживает занятиями спортом.

Ректорат, коллектив кафедры лесохимических производств и институт теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова поздравляет Н.И. Богдановича с юбилеем и от души желает ему крепкого здоровья, благополучия и новых успехов.

*Г.В. Комарова, Н.А. Кутакова, Л.Н. Кузнецова, С.И. Третьяков*  
Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова

*G.V. Komarova, N.A. Kutakova, L.N. Kuznetsova, S.I. Tretyakov*  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**Professor Nikolay Bogdanovich is 70**

---

УДК 06.091

## ЮБИЛЕЙ ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНЫ НАКВАСИНОЙ

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и почвоведения Северного (Арктического) федерального университета, почетный работник ВПО РФ Елена Николаевна Наквасина 6 декабря отметила свой юбилей.

Елена Николаевна окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт по специальности инженер лесного хозяйства. Стаж ее научно-педагогической работы 33 года, из которых 25 лет отданы преподаванию в вузах.

На основе выполненных Еленой Николаевной многолетних экспериментальных исследований по изучению лесных и географических культур основных лесообразующих пород разработаны практические рекомендации, которые внедряются в практику лесного хозяйства региона. Многие из них вошли в перечень «Наиболее важных отечественных достижений в области науки, техники и производства по лесному хозяйству за 1993 г.» Федеральной службы лесного хозяйства России.

Наквасиной подробно охарактеризован почвенно-растительный покров городских ландшафтов Архангельска, выявлено разнообразие растительности, установлена их биопродуктивность, дана типологическая характеристика почв и изучены их физические и агрохимические свойства, установлены закономерности содержания и миграции потоков биогенных и загрязняющих элементов и соединений в системе «почва–растение».

Ее вклад в науку неocenим. По итогам работы Елена Николаевна опубликовала более 200 трудов. Только за последние 5 лет она написала 28 научных и 2 учебно-методические работы, 3 монографии и 17 статей в рецензируемых журналах (основные из них: «Морфологическая изменчивость ели при ее адаптации в географических культурах Архангельской области»; «Биогеохимическая дифференциация ельников средней подзоны тайги»; «Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере» и др.). Ею подготовлены 4 кандидата наук, в настоящее время она руководит 6 аспирантами и соискателями.

В качестве руководителя и исполнителя она выполняла научные исследования по федеральным целевым программам, грантам РФФИ, РГНФ и т.д., региональным научным и научно-техническим программам, договорам с хозяйствующими субъектами, международным научным и научно-техническим программам.

Е.Н. Наквасиной дважды присуждалось звание лауреата премии Ломоносовского фонда: за учебное пособие для учащихся «География Архангельской области» и за работу «Комплексное изучение природы Архангельска». Она лауреат конкурса научно-исследовательских и внедренческих работ по

проблемам окружающей среды Архангельской области, формирования экологической культуры населения.

Елена Наквасина являлась организатором (членом оргкомитета и редколлегии) и участником многих научных конференций, проводимых в Архангельске, членом жюри областного этапа Всероссийской олимпиады школьников по биологии (2000–2010 гг.). Она член диссертационного совета при САФУ, член ученого совета АГТУ–САФУ (2010–2011 гг.), ученого совета лесотехнического института САФУ, член редколлегии ИВУЗ «Лесного журнала», член жюри конкурса научных проектов «Молодые ученые Поморья» и член экспертного совета РФФИ-Север.

Коллеги и друзья от всей души желают Елене Николаевне долгих лет жизни, счастья и успехов в научной и преподавательской деятельности.

*Е.Г. Царев, С.В. Любова, П.А. Феклистов,  
С.В. Третьяков, В.В. Петрик*  
Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова

*E.G. Tsarev, S.V. Lyubova, P.A. Feklistov, S.V. Tretyakov, V.V. Petrik*  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**Birthday Anniversary of Elena Nakvasina**

---

---



## ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

### **В.В. ЩЕЛКУНОВ**

**(к 100-летию со дня рождения)**

Валентин Васильевич Щелкунов родился 27 апреля 1912 г. в г. Котласе Архангельской области.

Его становление как педагога и ученого происходило вместе с Архангельским лесотехническим институтом (основан в 1929 г.), который он с отличием окончил в 1934 г. и был рекомендован для поступления в аспирантуру. Одновременно с сентября этого года Валентин Васильевич начал преподавать на кафедре сухопутного (с 1997 г. промышленного) транспорта леса.

Трудолюбие, стремление постигнуть новое – черты его характера, проявившиеся еще на студенческой скамье, окрепли и набрали силу в годы его педагогической деятельности.

В 1939 г. он защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, через год ему было присвоено звание доцента, в 1973 г. – профессора.

В.В. Щелкунов с 1942 г. по 1981 г. руководил кафедрой сухопутного транспорта леса, с 1981 г. по 1988 г. работал на ней профессором. Он организовал учебный процесс на высоком научно-методическом уровне. Совместно с сотрудниками кафедры им были созданы кабинет сухопутного транспорта, лаборатория грунтоведения и инженерной геологии. Он способствовал внедрению в лабораторные работы новейших экспериментальных методов, являлся инициатором внедрения ЭВМ в учебный процесс и научные исследования. Одна из первых ЭВМ в институте появилась на руководимой им кафедре.

Все, кому посчастливилось учиться у Валентина Васильевича, помнят благоговейную тишину на его лекциях. Говорил он негромко, спокойно и очень доступно. Студенты понимали, что от этого человека к ним идет поток глубоких знаний. Они уважали и любили своего преподавателя за предельную ясность изложения, взаимопонимание, видели в нем чуткого, умного и доброго наставника. Его учебные занятия всегда базировались на последних достижениях науки и техники.

Немало проф. Щелкунов сил отдавал подготовке научных кадров. Он никогда не рассматривал диссертацию своего ученика как самоцель, а видел в ней путь формирования ученого, специалиста. При этом он ценил не только деловые, но нравственно-моральные черты сотрудника. Принципиальный во всем, тут он особенно был требователен и непреклонен. Все, кто прошел у него школу аспирантуры (а это 14 человек), успешно продолжили его дело, сформировались как личности, став доцентами и профессорами нашего университета.

Научная деятельность В.В. Щелкунова связана с проблемами лесозаготовительной отрасли. В его известных книгах «Эффективность применения различных типов лесовозных дорог», «Воздействие лесовозного подвижного состава на железнодорожный путь», посвященных теории расчета железнодорожных путей на прочность, устойчивости насыпей на болотах, водно-тепловому режиму земляного полотна, расчету многослойных конструкций автомобильных дорог, специалисты находят ответы на многие практические вопросы. С его участием издан учебник «Сухопутный транспорт леса». Валентин Васильевич опубликовал более 80 научных работ, которые внесли большой вклад в развитие сухопутного транспорта леса, теорию и практику этой важной отрасли лесозаготовительного производства.

Он был членом редколлегии ИВУЗ «Лесной журнал» с самого начала его возрождения в 1958 г.

Человек исключительной скромности и принципиальности, Валентин Васильевич обладал разносторонними знаниями в различных областях. О широте его интересов говорит обширная библиотека, часть которой находится на кафедре промышленного транспорта.

За большие заслуги в развитии науки и подготовке инженерных кадров проф. В.В. Щелкунов награжден высокими государственными наградами, в том числе тремя орденами «Знак Почета».

Скончался В.В. Щелкунов 26 февраля 1998 г.

Его имя занесено в Книгу почета университета. На кафедре промышленного транспорта, с которой была связана вся его трудовая жизнь, установлена мемориальная доска, напоминающая о значении этого человека для университета, об идеале ученого-педагога.

*Коллектив лесотехнического института  
Северного (Арктического) федерального университета  
имени М.В. Ломоносова*

*Staff of Forestry Engineering Institute  
of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov*

**V.V. Shchelkunov (on the occasion of 100th Birthday Anniversary)**

---



**П.С. СЕРГОВСКИЙ – ОСНОВАТЕЛЬ  
НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ  
ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ  
( к 100-летию со дня рождения)**

Павел Семенович Серговский родился 6 января 1912 г. в г. Бежецк. Работая нормировщиком на лесопильном заводе, окончил вечернее отделение Ленинградской лесотехнической академии (ЛТА), затем поступил в аспирантуру к известному специалисту по сушке древесины Н.С. Селюгину и вскоре стал преподавать эту дисциплину. В 1940 г. он защитил кандидатскую диссертацию по аэродинамике лесосушильных камер, но дальнейшую научную и педагогическую деятельность прервала война. В 1941 г. Павел Семенович добровольцем уходит на фронт. Тяжелое ранение, госпиталь, работа на оборонном заводе в Свердловске, затем в Уральском лесотехническом институте, где он занимает должность доцента, потом заведующего кафедрой механической обработки древесины. Далее возвращение в Ленинград и кратковременный период работы в ЛТА.

Во вновь открытом (в 1943 г.) Московском лесотехническом институте на старших курсах начинают преподавать профилирующие дисциплины. В 1947 г. после временных совместителей на постоянную работу в качестве руководителя курса сушки древесины по рекомендации Б.М. Буглая приглашают П.С. Серговского. Он создает учебно-методическую и лабораторную базу, переиздает учебник своего учителя Н.С. Селюгина.

Одновременно начинается интенсивная научная работа. П.С. Серговский берется за решение задачи, казавшейся по тем временам невыполнимой из-за сложности строения древесины. Он проводит обстоятельные исследования ее влажностеплопроводности и разрабатывает метод расчета продолжительности сушки пиломатериалов. Результаты этих работ изложены в монографии (1952 г.) и докторской диссертации (1954 г.). Так закладывался фундамент будущей научно-педагогической школы П.С. Серговского в области гидротермической обработки древесины. Для нее характерна органическая связь проблем тепло- и массопереноса и фундаментального древесиноведения.

В 1958 г. выходит в свет его учебник, впоследствии выдержавший четыре издания, и создается кафедра гидротермической обработки древесины. В 1962 г. руководимой П.С. Серговским кафедре передается существовавший автономно курс древесиноведения, в 1977 г. открывается отраслевая лаборатория сушки древесины Минлеспрома СССР.

Это способствовало расширению проблематики научно-педагогической школы, укреплению ее связей с промышленностью. Крупным достижением в создании научных основ технологии сушки пиломатериалов явилась разработка рациональных режимов для древесины основных отечественных пород. Результаты определения показателей реологических свойств, теоретических и экспериментальных исследований сушильных напряжений и тепло- и массо-

обмена были использованы для двух государственных стандартов на режимы сушки пиломатериалов. Он принял большое участие в создании руководящих материалов по камерной сушке пиломатериалов. Интересен перечень тем исследований, выполненных на кафедре: теплофизические и влажностные свойства древесины; режимы высокотемпературной сушки древесины; метод контроля влажности по усадке штабеля и кондуктометрический метод; механическое обезвоживание древесины; модернизация сушильных камер; система автоматического контроля и регулирования процессов сушки пиломатериалов; неразрушающий метод контроля напряжений в пиломатериалах по дифференциальной усадке; математическая модель и вычислительная программа для разработки режимов сушки, оптимизированных по напряженно-деформированному состоянию пиломатериалов; режимы сушки, адаптированные к местным условиям и типам камер; тепловая обработка древесины и др.

Научная школа П.С. Серговского, из которой вышли известные ученые, пользуется заслуженным авторитетом не только в нашей стране, но за рубежом. Особую ценность представляют его учебники, которые до сих пор не потеряли своего значения. Логичная структура изложения, научная строгость, лаконичность, доступность подачи сложного материала и прекрасный язык этих работ остаются непревзойденными.

Проф. П.С. Серговский внес значительный вклад в развитие высшего образования. Три года он успешно руководил факультетом механической технологии древесины в вузе, состоял членом секций методического и технического советов Минвуза СССР, возглавлял экспертную комиссию ВАК.

Многогранна была его популяризаторская и научно-организаторская деятельность – доклады на отечественных и международных форумах, участие в работе ИЮФРО, координационных советов по сушке и древесиноведению. Он был членом редколлегии журналов «Деревообрабатывающая промышленность», «Лесной журнал» и издательства «Экология», автором статей в энциклопедиях.

П.С. Серговский скончался 24 февраля 1992 г. прожив большую творческую жизнь.

Имя проф. Павла Семеновича Серговского – выдающегося ученого мирового уровня и блестящего педагога, навсегда сохранится в истории нашего университета.

*Ректорат Московского государственного университета леса,  
коллеги, ученики*

*Administration of Moscow State Forest University,  
colleagues, pupils*

**P.S. Sergovskiy – Founder of Educational Research School  
of Hydro-Thermal Treatment of Wood (on the occasion of 100th Birthday Anniversary)**

---