

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

# *Лесной журнал*

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

3

2008

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Заместители главного редактора:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **А.С. Алексеев**, проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **А.А. Камусин**, акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **В.С. Куров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **Р.Н. Матвеева**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **М.Д. Мерзленко**, проф. **Е.Г. Мозолева**, проф. **Е.Н. Наквасина**, доц. **О.А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **Д.А. Пономарев**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.Г. Санаев**, проф. **А.В. Селиховкин**, проф. **В.В. Сергеевичев**, проф. **В.А. Сулов**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **А.И. Чернодубов**, проф. **Г.А. Чибисов**, проф. **Ю.А. Ширнин**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

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

---

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 3

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

---

Сдан в набор 30.04.2008. Подписан в печать 25.06.2008. Заказ № 157  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 12,775. Усл. кр.-отг. 12,775.  
Уч.-изд. л. 15,51. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

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

---

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



## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Е.Н. Наквасина.</i> Становление и традиции «Лесного журнала». Краткий обзор журнала в XIX в. ....	7
<b>ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО</b>	
<i>Ю.А. Ширнин, Н.И. Роженцова, В.К. Хлюстов.</i> Оптимизация рубок промежуточного пользования.....	13
<i>Э.П. Галенко, К.С. Бобкова, С.П. Швецов.</i> Температурный режим почвы чернично-сфагнового ельника средней тайги.....	19
<i>А.С. Яковлев, С.В. Кириллов.</i> Сохранность дуба в географических культурах...	29
<i>В.Г. Руссков.</i> Особенности роста в высоту сосны обыкновенной в Восточной Сибири .....	34
<i>Т.Ю. Кузнецова, А.Ф. Титов, Л.В. Ветчинникова.</i> Влияние кадмия на морфофизиологические показатели березы in vitro.....	39
<i>О.Н. Ежов.</i> Вредители и болезни городских зеленых насаждений Архангельского промышленного узла.....	45
<i>Д.А. Добрынин.</i> Эффективность сохранения естественных лесных ландшафтов в системе особо охраняемых природных территорий Архангельской области.....	51
<b>ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ</b>	
<i>Э.М. Гусейнов, Р.Э. Гусейнов.</i> Эффективность функционирования автомобильного сортиментовоза с двухступенчатым подвесом.....	57
<i>К.П. Рукомойников.</i> Способ транспортно-технологического освоения лесосек с использованием валочно-пакетирующих машин фронтального типа....	62
<i>В.Д. Валяжонков.</i> Классификация основных параметров колесных трелевочных машин.....	65
<i>А.Ю. Никифоров.</i> Вопросы утилизации отходов лесозаготовок.....	71
<b>МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ</b>	
<i>В.К. Пашков, С.В. Щепочкин.</i> Температурное поле зуба круглой пилы.....	75
<i>Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин.</i> Определение критической силы полосовой пилы. Общий случай.....	81
<i>Л.С. Суровцева.</i> Влияние сбежистости на объем круглых сортиментов.....	88
<i>Е.Н. Покровская.</i> Получение гидрофобных биостойких материалов при поверхностной модификации древесины.....	91
<i>А.Н. Екименко.</i> Исследование армированных древопластиков и их применение в машиностроении.....	97
<i>Р.Е. Калитеевский, А.А. Тамби, А.А. Гаврюков, А.М. Артеменков, В.М. Торопов.</i> Методика расчета процессов обрезки досок.....	100
<b>ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ</b>	
<i>Э.И. Гермер.</i> Современная концепция экологического нормирования технологических процессов ЦБП и возможные пути ее реализации в России. 2. Рекомендуемые значения нормируемых показателей сбросов и выбросов.	107

<i>У.О. Цибульски, Т.Б. Печурина.</i> Интенсификация кислородно-щелочной обработки.....	116
<i>Р.И. Винокурова, И.Ю. Трошкова.</i> Изменчивость накопления бетулина и суберина в бересте <i>Betula pendula</i> Roth. в зависимости от географической зональности.....	125
<i>С.М. Крутов, И.В. Грибков, М.Я. Зарубин, А.В. Пранович, В.С. Султанов.</i> Исследование гидролизных лигнинов методом пиролитической хромато-масс-спектрометрии.....	130

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

<i>С.В. Карпов, В.В. Радюшин, Э.Н. Сабуров, Г. А. Шепель.</i> Снижение потерь электроэнергии и вредных промышленных выбросов на предприятиях лесоперерабатывающего комплекса.....	137
---	-----

*КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ*

<i>Н.А. Бабич, С.А. Корчагов.</i> Современный учебник профессора Б.Н. Уголева...	
--	--





## CONTENTS

<i>E.N. Nakvasina.</i> Development and Traditions of «Lesnoy Zhurnal». Brief Survey of Magazine in 19 <sup>th</sup> Century.....	7
<b>FORESTRY</b>	
<i>Yu.A. Shirmin, N.I. Rozhentsova, V.K. Khlyustov.</i> Optimization of Thinning.....	13
<i>E.P. Galenko, K.S. Bobkova, S.P. Shvetsov.</i> Thermal Regime of Soil in Blueberry-sphagnum Spruce Forest of Middle Taiga.....	19
<i>A.S. Yakovlev, S.V. Kirillov.</i> Conservation of Oak in Geographical Cultures.....	29
<i>V.G. Russkov.</i> Peculiarities of Scotch Pine Elongation in Eastern Siberia.....	34
<i>T.Yu. Kuznetsova, A. F. Titov, L. V. Vetchinnikova.</i> Influence of Cadmium on Morpho-physiological Characteristics of Birch <i>in vitro</i> .....	39
<i>O.N. Ezhov.</i> Pests and Diseases of Municipal Green Plantations of Arkhangelsk Industrial Centre.....	45
<i>D.A. Dobrynin.</i> Efficiency of Natural Forest Landscapes Conservation in System of Protected Territories of Arkhangelsk Region.....	51
<b>WOODEXPLOITATION</b>	
<i>E.M. Guseinov, R. E. Guseinov.</i> Efficiency of Operation of Log Truck with Double-step Suspension.....	57
<i>K.P. Rukomoinikov.</i> Transport-Technology Development of Logging Sites by Using Felling-Bunching Machines of Frontal Type.....	62
<i>V.D. Valyazhonkov.</i> Classification of Main Parameters for Wheeled Skidders.....	65
<i>A.Yu. Nikiforov.</i> Questions of Waste Wood Utilization.....	71
<b>MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE</b>	
<i>V.K. Pashkov, S.V. Shchepochkin.</i> Temperature Field of Circular Saw Tooth.....	75
<i>G.F. Pokoffev, I.I. Ivankin.</i> Determination of Critical Force of Strip Saw. General Case.....	81
<i>L.S. Surovtseva.</i> Tapering Impact on Round Assortment Volume.....	88
<i>E.N. Pokrovskaya.</i> Producing Hydrophobic Biostable Materials under Surface Wood Modification.....	91
<i>A.N. Ekimenko.</i> Investigation of Reinforced Wooden Plastics and their Application in Mechanical Engineering.....	97
<i>R.E. Kaliteevsky, A.A. Tambi, A.V. Gavryukov, A. P. Artemenkov, V. M. Toropov.</i> Design Procedure of Trimming Processes for Boards.....	100
<b>CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD</b>	
<i>E.I. Hermer.</i> Modern Concept of Ecological Control of Technological Processes in Pulp-and-paper Production and Possible Ways of its Realization in Russia. 2. Recommended Values of Rated Indices of Discharge and Emissions.....	107
<i>U.O. Zibulski, T.B. Pechurina.</i> Oxygen-alkaline Treatment Stimulation.....	116
<i>R.I. Vinokurova, I.Yu. Troshkova.</i> Variability of Betulin and Suberin Accumulation in Birch Bark of <i>Betula Pendula</i> Roth Depending on Geographical Zoning.....	125

---

---

*S.M. Krutov I. V. Gribkov, M. Ya. Zarubin, A. V. Pranovich, V.S. Sultanov.*  
Investigation of Hydrolysis Lignins by Method of Pyrolysis Chromato-mass-  
spectrometry..... 130

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING*

*S.V. Karpov, V.V. Radyushin, E. N. Saburov, G. A. Shepel.* Reduction of Electric  
Power Loss and Hazardous Industrial Emissions at Woodworking Enterprises. 137

*CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY*

*N.A. Babich, S.A. Korchagov.* Modern Textbook of Professor B.N. Ugolev.....

---

---

УДК 630\*:05

*Е.Н. Наквасина*

## **СТАНОВЛЕНИЕ И ТРАДИЦИИ «ЛЕСНОГО ЖУРНАЛА» Краткий обзор журнала в XIX в.**

«Лесной журнал» начал выходить в 1833 г. под эгидой Общества для поощрения лесного хозяйства, объединявшего радетелей леса, прежде всего в европейской части России. Вначале общество насчитывало всего 30 членов, его численность возрастала не более чем по 10 человек в год, принимавшихся на ежегодном отчетном собрании. Однако впечатляют имена членов общества: президентом в первые годы был сенатор П.И. Полетика, членами – Ледебур, барон Ф.П. фон Врангель, князь А.С. Меншиков, граф М.С. Воронцов и др. Именно они стояли у истоков становления лесного хозяйства, а значит, и «Лесного журнала» в России.

Журнал того времени служил не только научным целям, он играл большую информационную роль. В каждом номере публиковались отчеты о заседаниях общества, его задачах, приеме новых членов. Многие сообщения позже публиковались на страницах журнала в развернутом виде.

Остро сказывалось отсутствие сформированной российской школы лесных знателей: более половины статей в журнале представляли переводы зарубежных изданий, прежде всего немецких. Круг авторов был крайне узок, всего несколько членов общества. Многие статьи печатались без указания авторства.

С первых лет существования «Лесной журнал» освещал не только лесохозяйственную, но и сельскохозяйственную деятельность. Он был четко структурирован, в разделах отражались основные направления лесного дела и садоводства: лесоразведение, лесоохранение, лесная технология, лесоуправление, лесная статистика, естественные науки, садоводство, сельское хозяйство, охота и др. Много места отводилось наблюдениям за природой, критическим материалам и разным интересным фактам. Разбирались сочинения иностранных авторов, публиковалась информация о новых книгах. Деление на рубрики было весьма условным, близкие, с нашей точки зрения, вопросы освещались в разных разделах.

На страницах «Лесного журнала» в первой трети XIX в. выделяются достаточно крупные статьи, отражающие основополагающие моменты лесной науки, роль леса в биосфере и для социума. Среди них «О пользе лесов», где отмечены фитонцидные (для «очищения воздуха») и климатологические функции леса, рассмотрена многосторонняя его польза для человека: заготовка дров, получение сажи, вара, лекарств и пищи; «О пользе лесов сельскому и государственному хозяйству», в которой речь шла об экологической роли леса (защита полей, отрицательное влияние на микроклимат как туманообразующего фактора, зарастание плодородных почв и др.); «О важности лесов в государственном характере» (использование полезностей ле-

са). Говорилось и «Об общих предметах лесной науки». Обсуждалась животрепещущая и в настоящее время проблема влияния лесов на климат. Уже в то время большое значение придавали «посторонним произведениям» леса (трава, листья, плоды, кора и «древесные соки»), которые сейчас мы называем недревесной продукцией.

Для современных лесоводов представляют интерес рассматривавшиеся в журнале частные вопросы лесной направленности, во многом перекликающиеся с проблемами, не изученными до сих пор. Стоит отметить, что становление лесного хозяйства шло с южных и центральных регионов России, где происходило массовое истребление лесов и были нужны меры по их восстановлению. Судя по содержанию прикладных статей, появившихся в журнале, чаще проблема рассматривалась и намечались пути ее решения для частных лесов, в имениях прогрессивно мыслящих помещиков. Информации о лесах и лесном хозяйстве северного региона до конца XIX в. практически не было.

В статьях по лесоразведению поднимались вопросы возобновления лесов после пожаров, выращивания отдельных пород (ильм, дуб, итальянская и калифорнийская сосны и др.), о преимуществах «садки» перед «сеянием» леса, окоренении отводков, пользе «утапывания земли» (современный аналог прикатыванию) для снижения влияния засухи.

Достаточно много внимания уделяли лесным технологиям: способам жжения угля, добывания поташа, «переугливания», использованию свежих и опавших листьев, хвои, сушке и крашению древесины, получению крахмала и муки из лесных растений, употреблению «корьев и волокнистых веществ», а также общим началам лесосплава.

Статьи естественно-научного цикла посвящены различным отраслям науки: ботанике, химии, физике в рамках тематики, связанной с лесом. Рассматривались вопросы анатомического строения растений и их систематики, например болезни и «уродливости» деревьев, строение коры и других тканей, нарастание слоев древесины и коры. Приводилось описание главных «сорных» («вредных») растений леса, отдельных пород и неизвестных видов. Изучались такие в понимании современной физиологии и экологии растений проблемы, как их питание, биология семян, строение корней, форма растений, окраска листьев, растительная химия и др.

Появлялись статьи по минералогии и «почвоведению», посвященные исследованию почв и подпочв в «физическом и химическом отношении». В них давались не только оценка свойств почвы по содержанию воды, доли песка, каменистости, составу водорастворимых фракций, твердой фазы почвы на содержание калия, натрия, аммиака и др., но и методики проведения работ. Многие из показателей, применявшихся в то время при анализе свойств почвы, стали традиционными и используются в современном почвоведении, хотя методики проведения работ во многом изменились.

Лесоведам того времени не чужды были и вопросы энтомологии, зоологии, орнитологии: печатались статьи «о превращении насекомых» и стадиях их развития, вредных насекомых, лесных зверях и птицах (зубр,

кролик, турухтан, кулик, куропатка, дрозд и др.). Публиковались статьи «о вреде, причиняемом лесам дичью», «о повреждении лесов домашним скотом», «о природе короедов и средствах их истребления». Уже в то время понятие охраны леса не относили только к пожарам или вредному воздействию насекомых и животных. В южных регионах страны она предполагала и такие мероприятия, как «укрепление летучих песков». Близки к этой тематике и статьи раздела «Охота», в которых приводились описания охоты на различную дичь в России и в других странах. Привлекали читателей и рассказы о животных, охотничьи байки (анекдоты).

В разделах, связанных с учетом лесов, основу составляли публикации с описаниями лесов стран, губерний или отдельных урочищ (боров). Именно в этот период была поднята проблема введения оборота рубки, продажи леса «по таксам», размежевания и разделения лесов «для вычисления оных».

В журнале отводилось место и для любознательных путешественников, которые писали статьи в рубрику «Наблюдения в отечестве»: о лесах Камчатки, о лесах и почвах лесов по тракту от Нижнего Новгорода до Твери, взгляд на садоводство в регионах и др.

Сельскохозяйственные проблемы, близкие к тематике «Лесного журнала», рассматривались в публикациях о способах посадки взрослых (плодовых) деревьев, их обрезке при формировании, разведении в садах древесных растений. Уделялось внимание историческим аспектам земледелия, необходимости осушения болот, пастбы скота (овец) в лесах и использования веток и листьев для их кормления.

Весьма интересной для читателей того времени (и полезной для наших современников!) была рубрика «Смесь», в которой в виде небольших по объему заметок приводилась любопытная информация по различным вопросам лесного и сельского хозяйства. Тематика заметок была очень широкой: от рассказов о последствиях стихии, успехах в лесопилении, описания редких и «замечательных» растений до оценки пользы жаб и долгого хранения яиц. Многие из кратких статей, видимо, в связи с возникшим интересом к теме, позднее появлялись в журнале в подробном изложении.

Спустя 40 лет после появления «Лесной журнал», который стало издавать Петербургское лесное общество, изменился в соответствии с политической лесного хозяйства в стране. Это уже был период упорядочения и, прежде всего, организации системы его ведения на государственном уровне. В 1870-х годах, после отмены крепостного права в России, на страницах журнала начали появляться статьи, связанные с порядком управления крестьянскими лесами, изучением хозяйственной заготовки леса в государственных лесах, судопроизводством по нарушениям постановлений о лесах и другими вопросами, отражающими изменения, происходящие в стране. Для становления российского лесного дела важное значение имели статьи о состоянии лесного хозяйства в других странах (Франция, Бельгия, Великобритания, Германия и др.).

Публиковались материалы о деятельности Лесного общества и его региональных отделений, съездах лесничих, что отражало не только рост числа членов общества, но и его активную деятельность. На заседаниях Лесного общества заслушивались доклады, в том числе и исторические, например «Петр Великий как первый лесовод России» (1872 г.).

В то же время шло становление лесной службы России: появились статьи о положении и деятельности лесничих, «новой лесной страже в государственных лесах», материальном положении лесных ревизоров. Постоянно публиковалась информация о движении личного состава корпуса лесничих, велась полемика о необходимости специального лесохозяйственного образования лесничих и их практической подготовке.

С усилением коммерциализации лесного хозяйства в «Лесном журнале» появился и стал постоянным и очень подробным раздел «Лесоторговые известия», в котором давался обзор цен на древесину на ярмарках (Нижегородской и др.), приводились рыночные цены на лесные материалы, информация о движении лесных товаров по железной дороге. Вся информация коммерческого характера сопровождалась анализом по отдельным губерниям и занимала большую часть журнала.

Развернувшаяся торговля лесом вызвала интерес к лесной таксации и статистике. В публикациях преобладали статьи-переводы по этой тематике, например «Лесная статистика», «Руководство по лесной статистике» (Г. Гейер), о применении видовых чисел к определению запаса насаждений, о способе Рейнара для определения диаметра на разных высотах у растущих деревьев и др. Появилась информация, хотя и достаточно краткая, о работах российских специалистов, в частности о книгах М. Турского «Таблицы для таксации леса», Н. Забоева «Лесная таксация и лесоустройство», В. Проворова «Таблицы кубического содержания древесной массы бревен разных размеров», заметки А. Рудзкого о проекте составления русских массовых таблиц.

Однако такое положение журнала не устраивало редакцию. В одном из предисловий к выпуску 1872 г. от имени редакции было помещено высказывание, что *«у большинства интерес научных знаний по лесоводству проявляется только в стремлении разрешить вопрос, через сколько времени дерево ... сделается ... таким, которое покупается»*.

Поэтому, несмотря на обилие материалов, связанных с лесозаготовками, транспортировкой и продажей леса, в «Лесном журнале», хоть и в меньшем объеме, чем в первые годы его выхода, стали появляться статьи, связанные с лесной наукой, познанием биологии леса и его роли: о влиянии леса на климат, отношении светолюбивых пород к почве, необходимости облесения песков, предотвращении губительного действия засухи на урожай хлебов и трав, значении насекомоядных птиц, степном лесоразведении и др.

Закладывались основы научных исследований. Довольно часто в тот период в «Лесном журнале» печатались статьи М. Турского, посвященные метеонаблюдениям в связи с природными явлениями, К. Тюрмера о практи-

ке лесоразведения, где давалось сравнение посадок и посевов леса, изучалось влияние прореживания на рост деревьев.

В связи с сокращением объема, выделяемого на публикацию научных статей, повысилась доля мелких сообщений научного характера в разделе «Смесь», содержание которого изменилось благодаря размещению информации делового характера. В кратких сообщениях отражались такие вопросы, интересующие членов Лесного общества, как влияние «веса и величины» семян на рост растений, «холода и теплоты» на прорастание семян, дернового покрова на температуру почвы, а также меры к истреблению большого соснового шелкопряда, искусственное разведение лесов и др.

Появились статьи, отражающие исчезновение лесных массивов, например в Орловской губернии. Причинами назывались большая населенность, малоземельность, высокая арендная и продажная стоимость земель. Шла речь о «суррогатных лесных материалах», таких как известняк для строительства домов, мелкий лес, солома, хворост и лужга гречихи для отопления.

В конце XIX – начале XX вв. существенно изменилось соотношение коммерческой и научной частей «Лесного журнала», увеличилась доля научно-публицистических статей. Лесоторговые заметки стали занимать незначительный объем журнала, в них по-прежнему отражалась информация о новых тарифах на древесину, ярмарках, торговле лесом, спросе и сбыте его в разных регионах России. Снизилось число статей по лесной таксации и статистике.

Лесной рынок распространялся в северные районы страны. К этому времени наметился поворот в лесном хозяйстве от южных регионов страны к северным как в коммерции, так и в научных исследованиях. Впервые давалась информация о лесах Архангельской губернии.

На страницах «Лесного журнала» по-прежнему рассматривались вопросы о кадровом обеспечении лесного хозяйства, лесоохранительном законодательстве, совершенствовании хозяйства в казенных лесах, лесном образовании. Печатались статьи, определявшие перспективы развития отрасли, среди них «К вопросу об организации опытного лесного дела в России» (Млодзянский), «Проект программы к исследованиям в Калецком лесничестве Калецкой губернии», включавший учет естественного и искусственного возобновления, уход за молодняками, лесотаксационные исследования, и др. Появились первые публикации Г.Ф. Морозова, К.И. Юницкого, С.П. Кравкова, публиковались обзоры трудов опытных лесничеств. Возросла роль российских авторов, в том числе лесничих и таксаторов. Весьма редкими стали переводы статей и материалы о лесном хозяйстве в других странах. Все чаще печатались доклады, заслушанные на заседаниях Лесного общества, что говорит не только об активной работе, но и высокой его значимости в жизни России.

Именно в этот период был введен термин «лесоведение»; в редакционной статье «Лесного журнала» отмечалось, что *«лесоводство из эмпирической науки постепенно ... будет переходить в чисто опытную, которой*

*присваивается название лесоведение». Появление нового раздела лесоводства ознаменовалось публикацией соответствующих статей и обзоров. Так, издан Проект изменений хозяйства, которые содействовали бы естественному возобновлению Тульских засек. Появились работы о внекорневом питании растений (И. Шевырев), влиянии различной влажности почв на развитие всходов сосны (А. Тольский), плодоношении сосны, болотной сосне (В. Сукачев), смене пород, влиянии обработки почвы на ее влажность, типах сосновых насаждений (В. Петровский), отношении растений к свету (В. Талиев), значении азота для роста лесонасаждений и др.*

Стали печататься, пожалуй, первые статьи о технологиях лесных рубок – кулисных и примыкающих лесосеках в связи с их шириной и направлением (В.Д. Огиевский); способах лесоразведения (опыты с 1- и 2-летними саженцами, посадка в бороздки и ямки, частичная и сплошная обработка почвы), новых лесокультурных приборах, в том числе семяносушильнях, что связано с возрастанием спроса на семена для лесовосстановления.

Ученые стали обращать внимание на качество заготавливаемой древесины. Рассматривались пороки древесины сосны и ели (косослой, метик, морозобойные трещины, водослой, крень, суковатость) и их значение для распиловки. Технические качества древесины связывались с ее анатомическими признаками (шириной годичного слоя), отмечалась географическая предрасположенность северной сосны к образованию тонкослойной древесины высокого качества.

Сохраняя традиции и передавая эстафету поколений, редакция «Лесного журнала» рассказывала о выдающихся деятелях, чья жизнь была связана с лесным хозяйством: Р. Гартиге, Ф. Арнольде, М. Турском, А. Рудзком. Журнал помогал Лесному обществу в сборе пожертвований на памятники им и стипендии их имени.

К началу XX в. в структуре «Лесного журнала» традиционно сохранялся раздел с краткими заметками «Разные известия». В нем публиковалась информация научного, публицистического характера, о премиях за лесоразведение, приводились обзоры докладов, интересные сведения (например о слонах в лесном хозяйстве), стихи, зарисовки с натуры. Всегда находилось место для рассказа о новых книгах и интересных статьях по лесному хозяйству, новых журналах в России и за рубежом. Печатались рефераты А. Тольского «Из лесной литературы».

Время изменило объем и структуру «Лесного журнала», но его традиции сохранились. Мы убеждаемся в этом, открывая каждый очередной номер.

Архангельский государственный  
технический университет

*E.N. Nakvasina*

### **Development and Traditions of «Lesnoy Zhurnal». Brief Survey of Magazine in 19<sup>th</sup> Century**

Arkhangelsk State Technical University

---



УДК 630\*624.3

**Ю.А. Ширнин, Н.И. Роженцова, В.К. Хлюстов**

Ширнин Юрий Александрович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств Марийского государственного технического университета. Имеет 220 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



Роженцова Наталья Игоревна родилась в 1978 г., окончила в 2001 г. Марийский государственный технический университет, аспирант, ассистент кафедры информатики МарГТУ. Имеет 2 печатные работы в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



Хлюстов Виталий Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Казахский государственный сельскохозяйственный институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А.Тимирязева. Имеет 105 печатных работ в области лесной таксации, лесоустройства, лесоводства.



## **ОПТИМИЗАЦИЯ РУБОК ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

Разработан алгоритм и программа сравнения эффективности рубок промежуточного пользования, отличающиеся учетом числа приемов и объемов получаемой древесины, выбором системы лесозаготовительных машин, затрат на проведение и расчетом прибыли.

*Ключевые слова:* промежуточное пользование, приемы и возраст рубок, сортиментный план, системы машин для лесозаготовок, прибыль.

Основными задачами рубок промежуточного пользования являются: улучшение породного состава, повышение качества и устойчивости насаждений, увеличение размеров лесопользования с единицы площади, усиление средообразующих, защитных и водоохраных функций леса, а также получение дополнительно к главному пользованию определенного количества древесины.

Рубки промежуточного пользования предполагают разреживание древостоев в несколько приемов с определенным периодом повторяемости.

Нормативы, обеспечивающие рациональные режимы лесопользования за весь период выращивания – распределение по возрастам, интенсивности и срокам повторяемости рубок, – изложены в региональных таблицах хода роста сомкнутых древостоев [2] и моделях текущего прироста по запасу, позволяющих на каждом шаге прогнозирования восстановления запаса определять относительную полноту в каждом последующем десятилетии [4]. Методика дает возможность охарактеризовать вырубаемую часть древостоя, определить таксационные показатели оставшегося после разреживания древостоя и спрогнозировать их изменение к очередному приему рубки.

Задача состоит в том, чтобы установить оптимальное число приемов и интенсивность рубок до возраста главной рубки с целью получить максимальный экономический эффект с учетом затрат на их проведение.

Объектами исследования являются участки лесного фонда, таксационные показатели, технические характеристики машин и механизмов, применяемых при рубках промежуточного пользования, технологические схемы разработки лесосек; предметом – сортиментная структура древостоя и сортиментный план заготовок, производительность систем машин.

Алгоритм расчета оптимальных параметров (возраст и интенсивность рубки) представлен на рис. 1. На первом этапе вводят исходные показатели древостоя: среднюю высоту, средний диаметр, густоту, сумму площадей сечений, запас (блок 2). Все расчеты проведены для сомкнутых сосновых древостоев. В блоке 3 задают первоначальное число приемов рубок, от трех до семи; в блоке 4 – коэффициент интенсивности рубки (отношение объема вырубаемой древесины к объему до начала очередного приема) в диапазоне от 0,1 до 0,5 на каждом приеме и сроки разреживания, при этом выполняют варьирование возраста первой рубки и интервалов между приемами. В блоке 5 для заданных параметров прогнозируют таксационные показатели, определяющие объемы заготовленной древесины при каждом приеме и в целом. Объемы очередного приема рассчитывают в зависимости от запаса оставляемой на корню древесины после предыдущей рубки, т. е. методом прогноза. В блоке 6 определяют объем. Для каждого приема рубок выбирают оптимальный сортиментный план [5], на основании которого рассчитывают выручку и подбирают возможные системы машин (блоки 7, 8, 9). Для всех систем определяют затраты на лесосечные работы (блок 10). На основании полученных результатов для каждого приема рубок выбирают систему машин (блок 11), обеспечивающую наименьшие затраты, рассчитывают прибыль после каждого приема и суммарную (блок 12). Найденные значения объема заготовленной древесины и прибыли сравнивают с максимальными, полученными при других параметрах рубок. Если они не выше, то текущие параметры рубок сохраняются (блоки 13–16). После рассмотрения всех возможных сочетаний вариантов рубок выдают значения максимальной прибыли и максимального объема, а также параметры, при которых они достигнуты.

Для обеспечения функционирования программы были выбраны наиболее применяемые в настоящее время системы машин для рубок ухода:

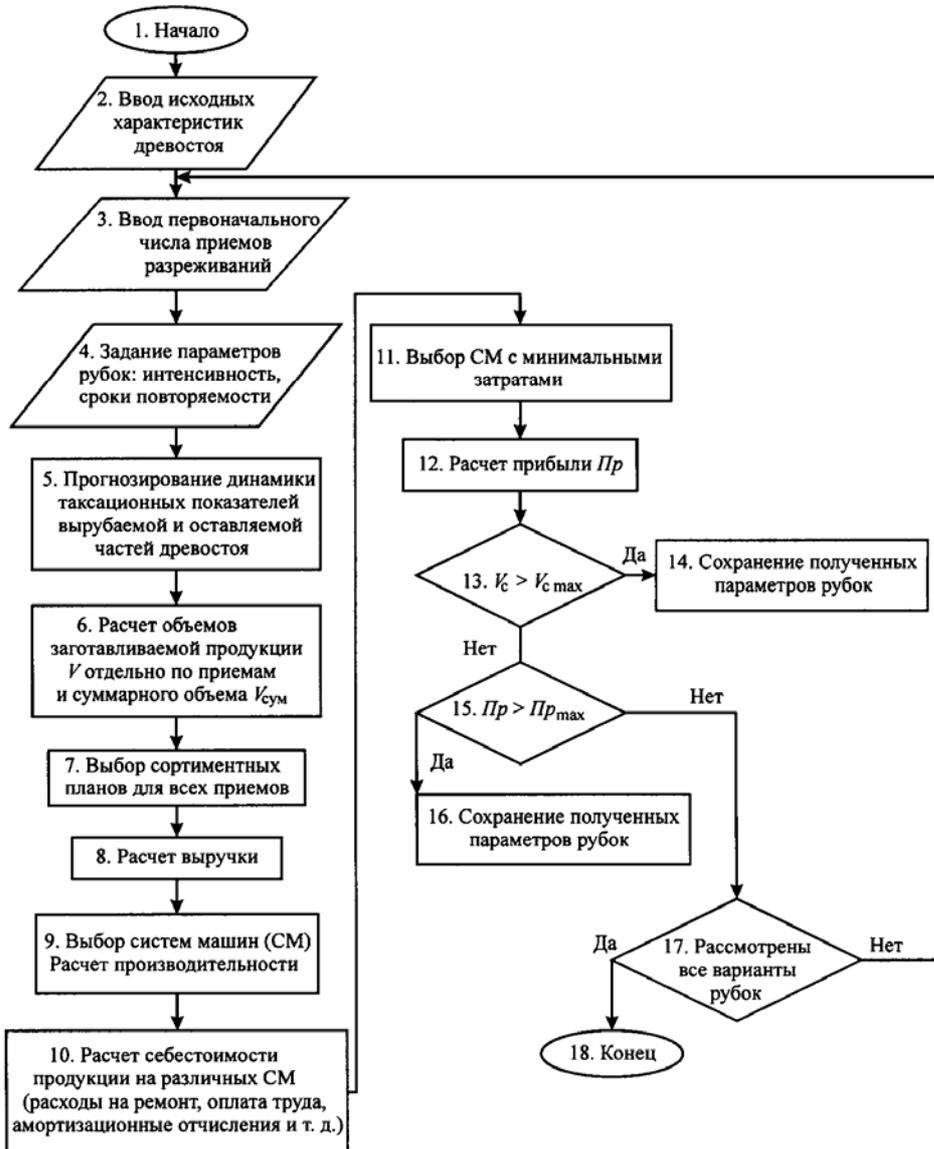


Рис. 1. Алгоритм расчета оптимальных параметров рубок леса:  $V_{c_{\max}}$  – максимальное значение объема заготовленной древесины;  $Pr_{\max}$  – максимальное значение прибыли

1) система № 1 (при малых объемах хлыста): валка – бензопила типа «Крона-202», «Тайга-214», «Хускварна-242ХР» и др.; обрезка сучьев – вручную (топор); трелевка – ТДТ-55; вывозка – ЗИЛ-131 + ТМЗ-802 + манипулятор;

2) система № 2 (объем хлыста до  $0,3 \text{ м}^3$ ): валка, обрезка сучьев и раскряжевка – бензопила типа «Крона-202», «Тайга-214», «Хус-

кварна-242XP» и др.; трелевка – форвардер ТБ-1-16(ТБ-1-14 + прицеп), МЛ-74 и др.; вывозка – «Урал-4320» + прицеп СЗАП-8357 с манипулятором; 3) система № 3 (объем хлыста более 0,3 м<sup>3</sup>): валка – бензопила типа МП-5 «Урал-2», «Хускварна» с пильной шиной 38 ... 70 см; обрезка сучьев – бензопила типа «Крона-202», «Тайга-214», «Хускварна-242XP» и др.; раскряжевка – бензопила типа МП-5 «Урал-2», «Хускварна» с пильной шиной 38 ... 70 см; трелевка и вывозка – те же механизмы, что и в системе машин № 2.

Разные приемы рубок могут быть выполнены одной системой № 3 и несколькими, отдельно для каждого разреживания.

В соответствии с параметрами рубок (коэффициент интенсивности, средний объем хлыста, запас на 1 га) рассчитывают производительность машин и затраты на выполнение лесосечных работ [3]. Затраты, или себестоимость зависят главным образом от производительности лесозаготовительных машин и механизмов, математические модели и формулы расчета которых изложены в [1, 6, 7]. В общем виде себестоимость лесозаготовок ( $C$ ) можно представить формулой

$$C = F(P, OT, A, ГСМ, ДР, Проч),$$

где  $P$  – сменная производительность машин и механизмов, м<sup>3</sup>/см;

$OT$  – средства на оплату труда и отчисления на социальные нужды рабочих, р.;

$A$  – амортизационные отчисления, р.;

$ГСМ$  – затраты на горюче-смазочные и ремонтные материалы, р.;

$ДР$  – попенная плата, р.;

$Проч$  – прочие затраты (представительские, командировочные расходы и т. д.), р.

Из всех представленных элементов затрат наиболее весомы оплата труда и затраты на горюче-смазочные материалы. Любой из элементов затрат ( $C_{эл}$ ) можно описать формулой

$$C_{эл} = \sum_{i=1}^N C_{эл_i} K_{эл_i},$$

где  $C_{эл_i}$  – стоимость единицы элемента (цена 1 л топлива, масла, зарплата

одного рабочего, амортизационные отчисления), р.;

$K_{эл_i}$  – число необходимых единиц (рабочие, машины, здания).

Ценовые показатели трудно спрогнозировать, поскольку они зависят от рыночных потребностей и связей (у каждого предприятия или хозяйства свои поставщики и продавцы, предоставляющие различные скидки на товар и т. п.). Поэтому полученные результаты расчетов затрат и прибыли ориентировочны и могут изменяться в зависимости от текущей экономической ситуации и конкретного предприятия.

В программе при заданных характеристиках древостоя варьируют параметры рубок (возраст рубки, интенсивность) и оптимизируемые показатели – объем заготовленной древесины и прибыль. Максимальные значения прибыли, полученные по предложенной методике, представлены в виде

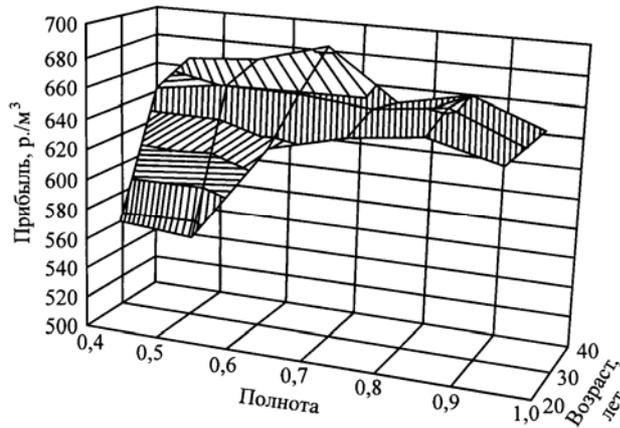


Рис. 2. Максимально достижимые значения прибыли при заданных исходных параметрах соснового древостоя I класса бонитета

поверхности на рис. 2. Каждой точке поверхности соответствуют определенные возраст и полнота, при которых найдено максимальное значение прибыли. По данному графику лесозаготовители могут обоснованно выбирать программу рубок промежуточного пользования.

Лесопользователь начинает эксплуатацию арендуемых участков лесного фонда только после составления плана рубок, определяет оптимальную стратегию. Например, арендатор имеет в распоряжении древостой со следующими таксационными характеристиками: возраст 30 лет, полнота 0,8; класс бонитета I. Эти параметры вводят в программу, которая в автоматическом режиме рассчитывает оптимальный режим лесопользования по критерию максимизации прибыли. Выдаваемые результаты содержат информацию об экономической эффективности рекомендуемой программы рубок, числе приемов рубок (разреживаний), сроках их проведения, интенсивности каждого приема, возможных системах машин. Для рассматриваемого примера предложено использовать трехприемные рубки в возрасте 30, 80 и 90 лет с коэффициентом интенсивности 0,1; 0,5 и 0,5. Прибыль составит 655 р./м<sup>3</sup>, объем заготовленной древесины 358 м<sup>3</sup>/га.

Расчеты выполнены для представленных систем машин. При необходимости база данных по системам машин может быть расширена с учетом пожеланий и рекомендаций предприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов, Ю.С. Вывозка лесоматериалов самопогружающимися автопоездами [Текст]: науч. изд. / Ю.С. Андрианов; под ред. М.Ю. Смирнова. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 231 с.

2. *Захаров, В.К.* Лесотаксационный справочник [Текст] / В.К. Захаров, О.А. Труль, В.С. Мирошников, В.Е. Ермаков. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Минск: Ред. науч.-техн. литературы, 1962. – 368 с.
3. Организация, планирование и управление предприятием [Текст]: справ. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Сост. В.А. Береславская, Л.В. Кошелева, Р.В. Кардакова. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – 116 с.
4. Промежуточное пользование лесом на северо-западе России [Текст] / В.А. Ананьев [и др.]. – Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии, 2005. – 150 с.
5. Сортиментные и товарные таблицы для лесов центральных и южных районов европейской части РСФСР [Текст]. – М.: ВНИИЛМ, 1987. – 128 с.
6. Технология и эффективность рубок с естественным возобновлением леса [Текст]: учеб. пособие / Ю.А. Ширнин, Е.И. Успенский, А.С. Белоусов. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1991. – 100 с.
7. *Ширнин Ю.А.* Технология и машины лесосечных работ [Текст]: курс лекций / Ю.А. Ширнин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – 304 с.

Марийский государственный  
технический университет

Российский государственный  
аграрный университет –  
МСХА им. К.А. Тимирязева

Поступила 28.11.06

*Yu.A. Shirnin<sup>1</sup>, N.I. Rozhentsova<sup>1</sup>, V.K. Khlyustov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Mari State Technical University

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University – MAA named after K.A. Timiryazev

### **Optimization of Thinning**

Algorithm and comparison programme of efficient thinning are developed that differ by registration of intakes and volumes of harvested wood, forest-harvesting machines, costs of thinning and profit estimation.

Keywords: thinning, methods and age of cutting, assortment plan, forest-harvesting machines, profit.

---

УДК 630\*116.13:582.475.2(1-924.82)(470.13)

**Э.П. Галенко, К.С. Бобкова, С.П. Швецов**

Галенко Эльмира Пантелеймоновна родилась в 1939 г., окончила в 1961 г. Ленинградский государственный университет, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 80 печатных трудов в области экологии леса, фитолимата и биологической продуктивности таежных лесов европейского Северо-Востока.



Бобкова Капитолина Степановна родилась в 1939 г., окончила в 1962 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор биологических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 160 печатных работ в области экологии леса, биоразнообразия, структуры и биологической продуктивности хвойных фитоценозов, углеродного цикла лесных экосистем Севера.



Швецов Сергей Павлович родился в 1960 г., окончил в 1984 г. Сыктывкарский государственный университет, ведущий инженер Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Область научных интересов – автоматизация биологических исследований.



**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ ЧЕРНИЧНО-СФАГНОВОГО ЕЛЬНИКА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ\***

Приведены данные о тепловом режиме почвы ельника чернично-сфагнового средней подзоны тайги. В деятельной толще почвы определены в сезонной динамике среднесуточные и среднемесячные температуры, суточные амплитуды колебания температуры в зависимости от типа погоды, показана пространственно-временная сезонная изменчивость температурного поля. Установлен период возможной активной жизнедеятельности корней древесных растений.

*Ключевые слова:* тайга, ельник, температурный режим почвы.

Еловые леса европейской территории России имеют обширный ареал. Их флористический состав, строение, типологическая структура отражают прежде всего зональные и территориальные особенности климата, рельефа, почвообразующих пород таежных ландшафтов [12]. Поэтому любая попытка экологического анализа этих лесов должна включать оценку локальных режимов природной среды, особенностей фитолимата насаждений. Температура деятельного горизонта почвы играет значительную роль в процессах, определяющих состояние лесных экосистем и отдельных их компонентов, динамику таких функционально важных для растений условий среды, как кислородный, питательный и водный режимы ризосферы

\* Работа выполнена по проекту РФФИ. Проект № 07-04-00 104-а.

сообществ. Изучение теплового режима почвы тесно увязано с распределением ее температур не только в данный момент, но и в течение значительных промежутков времени [9, 11, 13, 15, 16].

Отдельные аспекты теплового режима почв в еловых лесах средней тайги рассмотрены в работах [2, 4, 7, 8, 14], где исследованы в основном типичные подзолистые почвы ельников черничных и зеленомошных типов. Отмечено, что благоприятные условия для жизнедеятельности корней растений создаются в верхних горизонтах почвы. Тепловые свойства почв заболоченных типов елового леса практически не изучены.

Цель нашей работы – оценить динамику распределения температур в почве ельника чернично-сфагнового и определить факторы, обуславливающие тепловой режим ее деятельного слоя.

Исследования проводили в ельнике чернично-сфагновом (*Piceetum myrtilloso-sphagnosum*) на Ляльском лесозоологическом стационаре (62°14' с.ш., 50°40' в.д.) Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Состав древесного яруса 9Е1Б+С, ед. Пх. Древостой V класса бонитета разновозрастный (50 ... 200 лет), разновысотный без выраженной ярусности, густота 625 экз./га, запас древесины 194 м<sup>3</sup>/га. Средний диаметр ели 20 см, средняя высота 16 м. Много сухостоя (44 экз./га), валежника (200 экз./га) разной степени гниения (табл. 1). Подрост из ели, пихты, березы (5,6 тыс. экз./га). Подлесок с проективным покрытием 20 % состоит из шиповника, ивы, можжевельника, рябины, жимолости. Травяно-кустарничковый ярус с покрытием 60 ... 70 % формируют черника, хвощ, осока, линнея, седмичник, майник и др. Моховой покров, образованный сфагновыми и зелеными мхами, имеет покрытие 80 ... 90 %. Почва торфянисто-подзолисто-глеевая супесчаная, подстилаемая суглинками. Фитоценоз вписывается в динамический ряд заболачивания ельников черничных.

Методика исследований сводилась к одновременному измерению температуры почвы на ее поверхности (среднее из трех измерений) и на глубинах 5, 10, 20, 40, 60, 80 см. Для этого использовали многоэлементные

Таблица 1

## Таксационная характеристика древостоя

Порода	Возраст, лет	Число деревьев, экз./га		Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Запас древесины, м <sup>3</sup> /га		Средние	
		растущих	сухих		растущей	сухой	высота, м	диаметр, см
Ель	106...200	595	44	22,0	177	3,4	16	20
Сосна	110	5	-	1,1	8	-	22	40
Пихта	50	10	-	0,1	1	-	10	10
Береза	110	15	-	1,0	8	-	20	32
Всего	-	625	44	24,2	194	3,4	-	-

транзисторные термодатчики МТ-5АТ П25, которые подключали к автоматизированной системе сбора фитоклиматических данных на базе персонального компьютера. Точность измерений 0,1 °С. Наблюдения проводили с 21 мая по 25 октября в 2004 г. и с 14 мая по 14 октября в 2005 г., отсчеты фиксировали круглосуточно каждые 15 мин и осредняли за сутки. На основании результатов измерений на каждой глубине определяли среднесуточные и среднемесячные температуры почвы в сезонной динамике, суточные амплитуды колебания температуры, пространственно-временную сезонную изменчивость температурного поля в толще почвы, вычисляли месячные суммы температур по вертикальному профилю, устанавливали период начала роста и возможной активной жизнедеятельности корней древесных растений.

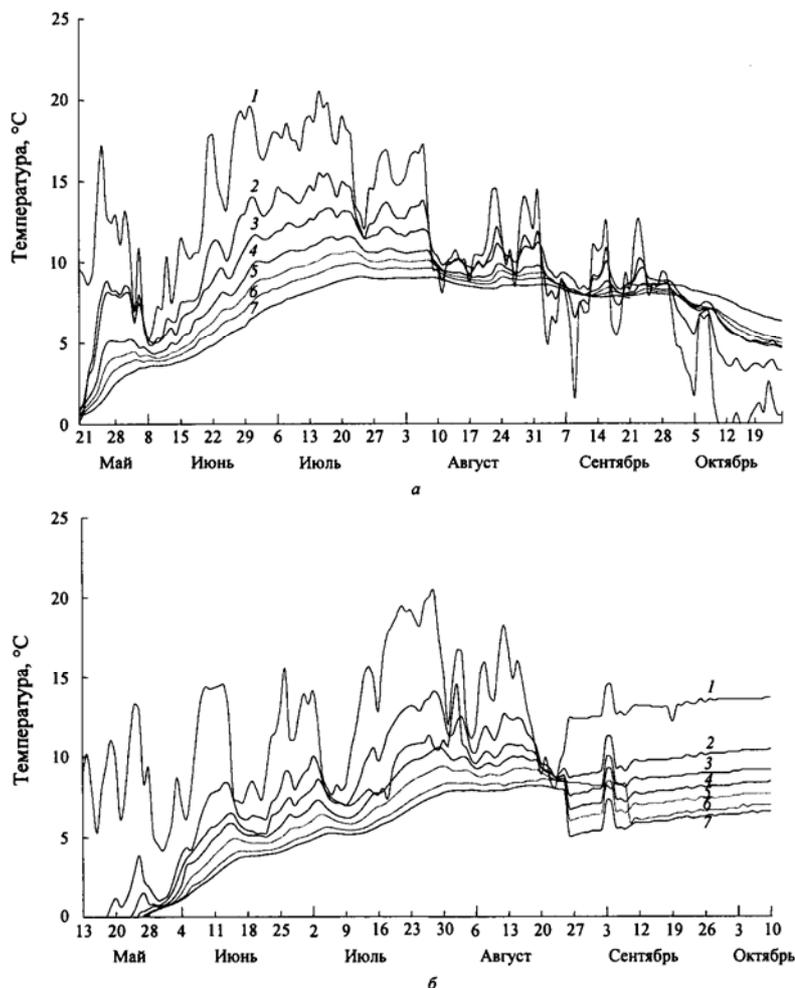


Рис. 1. Сезонная динамика среднесуточной температуры почвы в 2004 г. (а) и 2005 г. (б) на разной глубине: 1 – 0; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 20; 5 – 40; 6 – 60; 7 – 80 см

Наблюдения показали, что в теплый период года интенсивное прогревание почвы старовозрастного ельника чернично-сфагнового начинается в III декаде мая (рис. 1). Полог древостоя с подлеском и травяно-кустарничковый ярус в это время минимально препятствуют проникновению солнечной радиации к поверхности почвы и дальнейшему распространению тепла вниз по почвенному профилю. Среднесуточная температура почвы возрастает от нуля в первой половине мая (начало вегетации) до  $+(8 \dots 15)^\circ\text{C}$  во второй половине июля – августе. Наибольшие ее значения в 5–20-сантиметровом слое почвы в III декаде июля равны  $+(15 \dots 12)^\circ\text{C}$ . Во II декаде октября, когда среднесуточная температура поверхности почвы отрицательна (2004 г.), на глубине 5 см она снижается до  $+(3 \dots 4)^\circ\text{C}$ , а в слое 10 ... 80 см сохраняется на уровне  $+(5 \dots 7)^\circ\text{C}$ .

В 2005 г. отмечен аномально теплый период с 24 августа по 17 октября, когда в дневные часы в сентябре воздух прогревался до  $+(10 \dots 17)^\circ\text{C}$ , в октябре удерживался на уровне  $+(8 \dots 10)^\circ\text{C}$ . В результате температура почвы на глубинах 5 ... 80 см, опустившись в конце августа до  $+(9 \dots 6)^\circ\text{C}$ , в сентябре вновь поднялась до  $+(11,5 \dots 7,6)^\circ\text{C}$  и сохранялась такой в течение всего периода наблюдений.

Сезонная динамика средних месячных температур почвенного профиля (рис. 2) характеризуется постепенным их ростом с мая до июля – августа и затем медленным снижением. Осенью, когда верхние слои почвы начинают постепенно остывать, бывает период, в который температура почвы по вертикали практически одинакова. Это явление наблюдалось в сентябре и сохранялось в слое 10 ... 80 см в октябре 2004 г. С глубиной наступление максимальных температур сдвигается с июля на август: в 2004 г. – с 60 см, в 2005 г. – с 5 см.

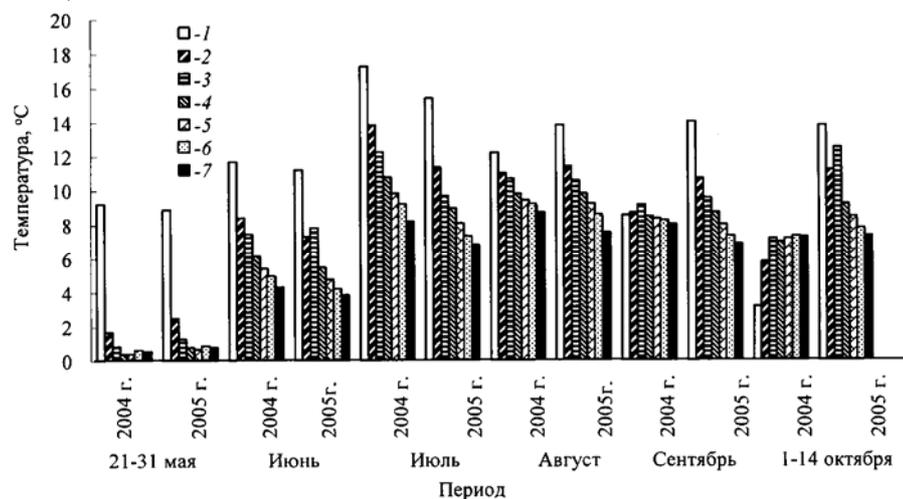


Рис. 2. Среднемесячная температура почвы в 2004 и 2005 г.г. на разной глубине: 1 – 0; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 20; 5 – 40; 6 – 60; 7 – 80 см

Таблица 2

## Суммы температур, °С

Период	Глубина почвенного профиля, см						
	0	5	10	20	40	60	80
21–31 мая	<u>130,8</u>	<u>65,2</u>	<u>61,5</u>	<u>38,5</u>	<u>29,7</u>	<u>23,9</u>	<u>17,8</u>
	98,2	27,8	14,0	8,7	7,5	8,4	8,4
Июнь	<u>304,4</u>	<u>218,8</u>	<u>194,3</u>	<u>160,4</u>	<u>141,4</u>	<u>128,6</u>	<u>112,9</u>
	347,9	226,6	178,0	170,5	148,5	129,4	120,1
Июль	<u>535,6</u>	<u>429,1</u>	<u>379,7</u>	<u>334,1</u>	<u>304,7</u>	<u>281,9</u>	<u>254,2</u>
	478,0	352,6	299,9	278,1	251,1	224,8	212,2
Август	<u>378,8</u>	<u>341,9</u>	<u>331,3</u>	<u>303,5</u>	<u>292,6</u>	<u>283,1</u>	<u>270,2</u>
	428,9	354,1	328,4	304,2	286,1	284,1	256,2
Сентябрь	<u>256,8</u>	<u>260,9</u>	<u>275,0</u>	<u>254,7</u>	<u>250,7</u>	<u>246,7</u>	<u>240,8</u>
	393,2	299,8	267,9	244,3	224,1	212,3	193,0
1–14 октября	<u>45,2</u>	<u>81,9</u>	<u>100,6</u>	<u>98,2</u>	<u>100,2</u>	<u>101,5</u>	<u>102,0</u>
	193,4	157,0	139,5	129,0	118,9	108,9	103,1
21 мая – 14 октября	<u>1651,6</u>	<u>1397,8</u>	<u>1342,4</u>	<u>1071,6</u>	<u>1119,3</u>	<u>1065,7</u>	<u>997,9</u>
	1939,6	1417,9	1227,7	1134,8	1036,2	967,9	893,0

Примечание. В числителе данные 2004 г., в знаменателе – 2005 г.

В табл. 2 приведены месячные суммы температур по почвенному профилю за период наблюдений в 2004 и 2005 гг. Температура на поверхности почвы – величина очень динамичная, моментально реагирующая на колебания температуры воздуха и особенно солнечной радиации, интенсивность которой под пологом леса может меняться хаотически в зависимости от солнечных бликов, теней и полутеней. Следовательно, анализ температуры поверхности почвы мало целесообразен, ввиду большой неточности показаний. Рассмотрим закономерности распределения сумм температур в почве на глубине от 5 до 80 см. Если принять за 100 % тепловые ресурсы почвы на глубине 5 см, то на уровне 80 см накапливается тепло к концу мая на 27 ... 30, в июне – 52 ... 53, июле – до 60, августе – 72 ... 79 %. Следовательно, внутрипочвенные термоградиенты в рассматриваемом слое почвы в летние месяцы имеют отрицательный знак. Направление теплового потока – от поверхности почвы к подстилающей породе, теплообмен идет по типу инсоляции. Нагрев почвогрунта определяется интенсивностью солнечной радиации и альbedo деятельной поверхности. В сентябре тепловые характеристики почвенной толщи 5 ... 80 см различаются незначительно. В октябре знак внутрипочвенных термоградиентов меняется на противоположный, и температура почвы на глубине 10 ... 80 см уже выше, чем на уровне 5 см, за исключением показаний в аномально теплом октябре 2005 г. Направление теплового потока – от подстилающей породы к поверхности почвы, теплообмен идет по типу излучения. Значение внутрипочвенных термоградиентов в холодный период года определяет мощность и плотность снежного покрова и степень континентальности климата [6].

Таблица 3

## Суточные амплитуды температуры почвы, °С, в 2004 г.

Тип погоды	Глубина, см	Период					
		21–31 мая	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	1–25 октября
Ясно	0	<u>9...12</u> 10,4	<u>5...12</u> 8,3	<u>5...10</u> 8,0	<u>4,5...13</u> 8,1	<u>2...11</u> 5,0	<u>1...5,3</u> 2,6
	5	<u>0...3</u> 1,7	<u>1...3</u> 2,2	<u>1...3</u> 2,3	<u>1...4</u> 2,2	<u>0,8...3</u> 1,3	<u>0,5...0,8</u> 0,7
	10	<u>0...1</u> 0,5	<u>0,5...3</u> 0,8	<u>0...0,5</u> 0,2	0	<u>0,0...1,0</u> 0,3	<u>0...0,3</u> 0,1
	20	<u>0...1</u> 0,5	<u>0...2</u> 0,4	<u>0...0,2</u> 0	0	0	0
	40	<u>0...1</u> 0,5	<u>0...2</u> 0,2	0	0	0	0
	60	<u>0...1</u> 0,5	0	0	0	0	0
	80	<u>0...1</u> 0,5	0	0	0	0	0
	Переменно	0	<u>11...16</u> 13,0	<u>2...11</u> 8,3	<u>4...10</u> 7,5	<u>2...16</u> 9,7	<u>2...7,5</u> 3,9
5		<u>1...4</u> 2,7	<u>1...3</u> 2,2	<u>1...3</u> 2,3	<u>1...6</u> 5,4	<u>0,5...1,8</u> 1,1	<u>0,3...0,8</u> 0,5
10		<u>0,5...3,0</u> 1,5	<u>0...2</u> 0,8	<u>0...0,4</u> 0,1	<u>0...1</u> 0,4	<u>0...0,5</u> 0,2	<u>0...0,4</u> 0,1
20		<u>0,5</u> 0,5	<u>0...0,5</u> 0,4	0	0	0	0
40		<u>0...0,5</u> 0,3	<u>0...0,5</u> 0,2	0	0	0	0
60		<u>0...0,5</u> 0,2	0	0	0	0	0
80		<u>0...0,5</u> 0,2	0	0	0	0	0
Пасмурно		0	<u>3</u> 3	<u>1...4</u> 2,5	–	<u>1...4</u> 2,6	<u>1</u> 1,0
	5	<u>1</u> 1	<u>0,5...1</u> 0,8	–	<u>0,5...1</u> 0,9	<u>0,2...1</u> 0,6	0
	10	0	–	–	<u>0...0,5</u> 0,1	<u>0...0,5</u> 0,2	0
	20	0	–	–	0	0	0
	40	0	–	–	0	0	0
	60	0	–	–	0	0	0
	80	0	–	–	0	0	0

Примечание. В числителе диапазон варьирования, в знаменателе среднее значение.

Показателями микроклимата почвы являются скорость ее прогревания на глубине суточного затухания колебаний температуры, продолжительность периода с температурами, обеспечивающими ростовые процессы и активную жизнедеятельность корней растений. Проанализированы суточные колебания температуры почвы в зависимости от типа погоды и глубины в старовозрастном ельнике чернично-сфагновом (табл. 3). Так, в ясную погоду и дни с переменной облачностью на поверхности почвы они достигают  $+ (12 \dots 16) ^\circ\text{C}$ , но уже на глубине 5 см резко затухают до  $(0 \dots 6) ^\circ\text{C}$ . На глубинах 10 и 20 см температура колеблется в пределах  $0 \dots 3 ^\circ\text{C}$ , в слое 40 ... 80 см только в мае и июне есть несущественные (доли градуса) колебания. В пасмурную погоду суточная амплитуда температуры почвы весьма незначительна: на поверхности почвы – до 4, на глубине 5 см – до 1; 10 см – до  $0,5 ^\circ\text{C}$ , ниже практически не прослеживается.

В результате можно принять, что в спелом ельнике чернично-сфагновом средней подзоны тайги в теплый период года суточные колебания температуры почвы затухают на глубине от 10 (в пасмурные дни) до 20 см. Ранее нами было показано, что в зеленомошных типах спелых хвойных сообществ средней тайги это происходит на глубине 30 ... 40 см [4, 5]. Такое различие, видимо, следует объяснить увеличением влажности почвы ельника чернично-сфагнового по сравнению с зеленомошным. Сезонная динамика этого показателя свидетельствует о том, что суточное колебание температуры почвы резко затухает в конце периода вегетации – обычно в сентябре.

Путем прямых измерений нами была оценена пространственно-временная изменчивость температуры почвы в рассматриваемом ельнике в течение вегетационных сезонов 2004 и 2005 гг. Динамику и характерные признаки температурного режима почвы отражают термоизоплеты, построенные по среднесуточным значениям на глубинах 0 ... 80 см (рис. 3).

Исследованиями К.С. Бобковой [2] показано, что ростовые процессы корней ели в средней подзоне тайги начинаются при прогреве почвы до  $+(4 \dots 5) ^\circ\text{C}$ , а их активный рост и формирование при  $+8 ^\circ\text{C}$  и выше. По результатам наблюдений за термическим режимом почвы определен период, обеспечивающий начало жизнедеятельности и активный рост корней на разной глубине. Так, верхний 5–20-сантиметровый слой почвы чернично-сфагнового ельника прогревается до  $+(4 \dots 5) ^\circ\text{C}$  весной в конце мая (2004 г.) – первой декаде июня (2005 г.), а на глубине 40 см – в первой половине июня. Установлена продолжительность периода возможной активной жизнедеятельности корней древесных растений, когда температура почвы равна  $+ 8 ^\circ\text{C}$  и выше. В 2004 г. такой период в слое 5 ... 20 см наблюдался с конца июня до начала октября (100 ... 105 дн.), в 2005 г. с 16 июня по 8 июля и сохранялся до конца периода наблюдений. С глубиной прогревание почвы до активных температур запаздывает на 6 ... 9 дн. в каждом 20-сантиметровом слое.

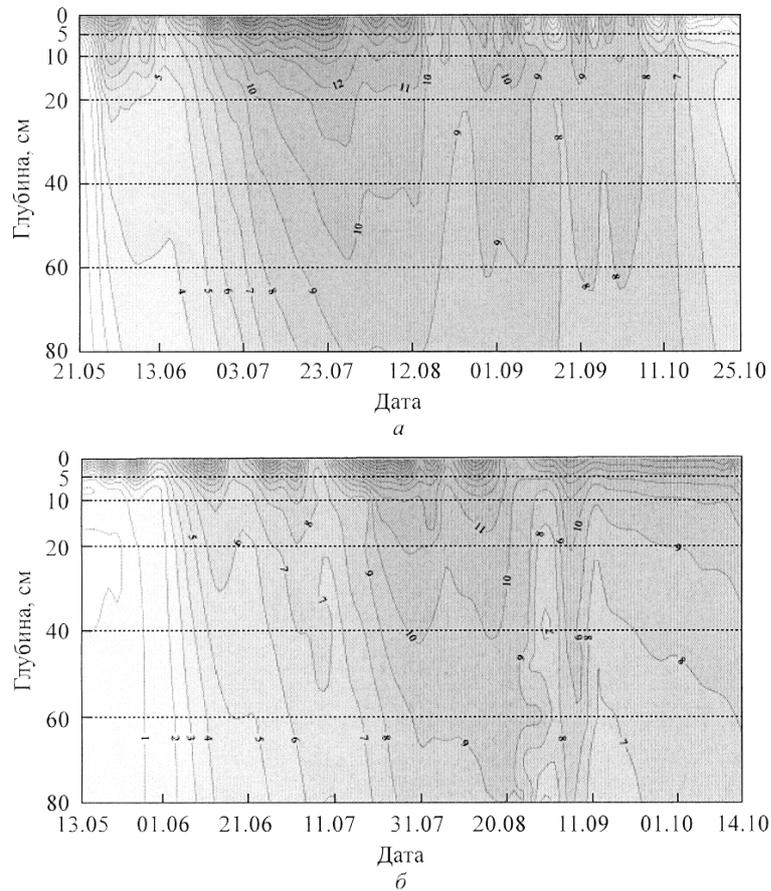


Рис. 3. Термоизоуплеты почвы, °С, в 2004 г. (а) и 2005 г. (б)

Сравнение тепловых ресурсов почв на различной глубине трех спелых хвойных древостоев (табл. 4) средней тайги показало, что ельник чернично-сфагновый значительно теплее зеленомошного и черничного влажного. По степени накопления тепла в почве его можно приравнять к таким фитоценозам, как сосново-еловый черничный и сосняк чернично-зеленомошный [4, 5]. Период возможной активной жизнедеятельности корневых систем в ельнике чернично-сфагновом соответственно в 1,1–1,3 и 1,4–2,0 раза продолжительнее, чем в ельниках зеленомошном и черничном влажном.

В целом тепловой режим почвы старовозрастных ельников всех трех типов обеспечивает возможность активного роста корней на глубине 0 ... 80 см, хотя на 80 см этот период не превышает 30 ... 60 дн. Несмотря на то, что почва ельника чернично-сфагнового теплее, древостой его менее продуктивен. Так, в ельнике зеленомошном запасы древесины составляют 235 [8], черничном влажном – 220 [2], чернично-сфагновом – 194 м<sup>3</sup>/га. Если в зеленомошных и черничных типах сообществ одним из основных лимити-

Таблица 4

**Продолжительность периода возможной активной жизнедеятельности корней  
древесных растений**

Древостой	Почва	Глубина, см	Диапазон	Среднее значение
			варьирования	
Ельник зелено- мошный [8]	Типичная подзолистая	5	97...103	101
		10	90...97	92
		20	82...87	84
		40	30...78	61
		60	57...75	69
Е. черничный влажный [2]	Торфянисто-подзолисто- глееватая иллювиально- гумусовая супесчаная на суглинках	5	60...90	72
		10	59...85	69
		20	58...80	67
		40	8...64	41
		60	0...64	35
Е. чернично- сфагновый	Торфянисто-подзолисто- глеевая супесчаная на суглинках	5	104...120	112
		10	110...111	110
		20	89...101	95
		40	64...95	80
		60	48...90	69
		80	31...62	47

рующих факторов продуктивности фитоценоза является температура почвы [5, 1], то в чернично-сфагновом ельнике еще и избыток влаги. Согласно А.Я. Орлову [10], А.В. Веретенникову [3], К.С. Бобковой [2], в почвах заболоченных типов хвойных сообществ таежной зоны довольно часто происходят анаэробные процессы, негативно влияющие на жизнедеятельность корней древесных растений. Так, в торфянисто-подзолисто-глеевой почве ельника долгомошно-сфагнового во влажные годы почва большую часть вегетации переувлажнена и находится в состоянии периодического анаэробнобиоза [2]. В почвенной воде ризосферы (0 ... 40 см) концентрация кислорода составляет всего 0,2 ... 3,1 мг/л, при этом рост корней идет вяло или совсем прекращается [10], нарушаются обменные процессы, в частности снижаются фотосинтетическая активность и транспирация [3].

Таким образом, выполненные нами исследования позволяют определить тепловой режим деятельного слоя почвы и связанное с ним состояние лесных экосистем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера [Текст] / отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко. – СПб., 2001. – 278 с.
2. Бобкова, К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока [Текст] / К.С. Бобкова. – Л., 1987. – 156 с.

3. *Веретенников, А.В.* Физиологические основы устойчивости древесных растений к временному избытку влаги в почве [Текст] / А.В. Веретенников. – М., 1968. – 136 с.
4. *Галенко, Э.П.* Температурный режим почв в зеленомошных типах леса средней тайги [Текст] / Э.П. Галенко // Экология роста и развития сосны и ели на Северо-Востоке европейской части СССР: тр. Коми фил. АН СССР. – Сыктывкар, 1979. – № 44. – С. 90–103.
5. *Галенко, Э.П.* Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса Европейского Севера [Текст] / Э.П. Галенко. – Л., 1983. – 129 с.
6. *Димо, В.Н.* Тепловой режим почв СССР [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.532 / В.Н. Димо; [Всесоюз. акад. с.-х. наук. Почвенный ин-т]. – М., 1971. – 58 с.
7. *Забоева, И.В.* Почвенно-экологические условия еловых сообществ [Текст] / И.В. Забоева // Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. – СПб., 2001. – С. 112–131.
8. *Кононенко, А.В.* Гидротермический режим таежных и притундровых почв европейского Северо-Востока [Текст] / А.В. Кононенко. – Л., 1986. – 144 с.
9. *Молчанов, А.А.* Лес и климат [Текст] / А.А. Молчанов. – М., 1961. – 279 с.
10. *Орлов, А.Я.* Рост и жизнедеятельность сосны, ели и березы в условиях затопления корневых систем [Текст] / А.Я. Орлов // Влияние избыточного увлажнения почв на продуктивность лесов. – М., 1966. – С. 112–154.
11. *Протопопов, В.В.* Средообразующая роль темнохвойного леса [Текст] / В.В. Протопопов. – Новосибирск: Наука, 1975. – 328 с.
12. Растительность европейской части СССР [Текст] / под. ред. С.А. Грибовой, Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко. – Л., 1980. – 426 с.
13. *Сапожникова, С.А.* Микроклимат и местный климат [Текст] / С.А. Сапожникова. – Л., 1950. – 242 с.
14. *Чертовской, В.Г.* Еловые леса европейской части СССР [Текст] / В.Г. Чертовской. – М., 1978. – 176 с.
15. *Шульгин, А.М.* Климат почвы и его регулирование [Текст] / А.М. Шульгин. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 341 с.
16. *Шульгин, А.М.* Температурный режим почвы [Текст] / А.М. Шульгин. – М., 1957. – 242 с.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
Поступила 11.09.06

*E.P. Galenko, K.S. Bobkova, S.P. Shvetsov*

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

### **Thermal Regime of Soil in Blueberry-sphagnum Spruce Forest of Middle Taiga**

Data on thermal regime of soil in blueberry-sphagnum spruce forest of middle taiga sub-zone are provided. Daily and monthly average temperature, daily average temperature amplitude variations depending on the weather type are determined in the active soil thickness within the seasonal dynamics; space-time seasonal variability of the temperature field is shown. The period of possible vital activity of woody plant root system is set.

Keywords: taiga, spruce forest, soil temperature regime.

УДК 630\*232.11

### ***А.С. Яковлев, С.В. Кириллов***

Яковлев Александр Степанович родился в 1937 г., окончил в 1960 г. Поволжский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки Республики Марий Эл, академик ИТА Чувашской Республики. Имеет более 190 научных трудов по исследованию состояния искусственных лесных насаждений и защитного лесоразведения.



Кириллов Сергей Владимирович родился в 1962 г., окончил в 1985 г. Марийский политехнический институт, старший преподаватель кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Марийского государственного технического университета. Имеет 5 печатных работ в области лесных культур дуба.



### **СОХРАННОСТЬ ДУБА В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ**

Приведены данные о сохранности географических культур дуба в Республике Марий Эл. Наилучшей она оказалась у желудей из зоны широколиственных лесов.

*Ключевые слова:* географические культуры, дуб, климатип, сохранность.

Успешность выращивания устойчивых и высокопродуктивных насаждений дуба в большой степени зависит от происхождения желудей [1]. При разработке методики исследований использованы работы Г.К. Незабудкина [2] и А.С. Яковлева [3]. Мы попытались проанализировать сохранность географических культур дуба, произрастающих в Республике Марий Эл.

В 1976 г. географические культуры дуба созданы посевом желудей, число посевных мест 8,9 тыс. шт. на 1 га. О сохранности дубков каждого происхождения в двух повторностях можно судить по данным инвентаризации 4- и 24-летних культур (см. таблицу).

Анализ данных инвентаризации 1979 г. показал, что число 4-летних дубков на площадках, где были посеяны желуди одного происхождения, колеблется в I повторности от 13 до 1209, во II от 69 до 1105 шт., т. е. от 0,8 до 69,8 % от высеянных.

Лучшая сохранность дуба в двух повторностях отмечена у климатипов курского происхождения (68,8 и 45,0 %), гомельского (65,1 и 63,8 %), из Татарстана (50,7 и 58,4 %), белгородского, Алексеевский лесхоз (66,4 и 45,0 %), из Республики Марий Эл, Руткинский лесхоз (48,9 и 31,2 %). Наименьшим было число дубков белгородского происхождения, Щебекинский лесхоз (4,6 %), из РМЭ, Козьмодемьянский лесхоз (2,8 %) и башкирского (3,2 %).

Анализ показал, что сохранность 4-летних дубков зависела не только от их происхождения, но и от комплекса факторов, в том числе посевных





качеств желудей, агротехнических и защитных мероприятий на объекте. В актах лесхоза, составленных при закладке посевного материала на хранение водными способами, отмечалось, что желуди из лесхозов Марийской Республики до 50 % оказались подсушенными, не тонули в воде, волгоградские после извлечения имели только 54 % жизнеспособных. В год посева желудей на лесокультурной площади наблюдались потравы кабаном (Белгородская область, Щебекинский лесхоз). В некоторые годы уходы за созданными культурами были нерегулярными, поэтому низкую сохранность дубков марийского и волгоградского происхождений следует отнести и за счет качества желудей.

В пределах каждой лесорастительной зоны сохранность также неодинакова. Подзона южной тайги: самая высокая у дубков из Пригородного лесхоза (51,2 %), низкая – из Муш-Маринского (2,7 %). Во втором случае, скорее всего, повлияли агротехнические меры, в том числе возможные скашивания при уходах.

Зона широколиственных лесов: худшая сохранность у местных дубрав, у остальных происхождений показатели достаточно близкие (39,6 ... 51,2 %).

В лесостепной зоне наблюдается большой разброс по сохранности дубков из разных лесхозов: от 0 (Башкирский предгорный район) до 67,0 % (Оренбургская область). Сохранность 4-летних дубков из Башкортостана была очень низкой: в I повторности 13, во II – 98 растений, через 20 лет остались лишь единичные растения. Незначительны показатели и у дубков воронежской популяции, из 1326 шт. осталось всего 269. Очевидно, что сохранность потомств существенно зависит от различий в климатических и почвенных условиях мест, где заготовлены желуди и где они посеяны. Чем больше это расстояние, тем меньше растений остается в географических культурах, что подтверждается данными о сохранности дубков из степной зоны.

Сохранность дубков также зависит от микроклиматических условий, о чем можно судить по анализу двух повторностей. Культуры второй повторности расположены ниже по склону, где заморозки сильнее и продолжительнее, чем на возвышенной части участка. Это привело к большей гибели молодых дубков.

Наибольшее число растений сохранилось в культурах происхождений: из Гомельской области – 897, Брянской – 767, Татарстана – 637; 200 ... 400 шт. из Курской, Белгородской (Алексеевский лесхоз), Воронежской (Теллермановский лесхоз), Оренбургской и других областей (более 6 происхождений). Менее 50 шт. у двух происхождений. Сохранность дубков в 1999 г. по сравнению с 4-летними культурами оказалась выше в потомствах, где их первоначально было больше.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена ( $r_s$ ) составил 0,85, следовательно, сохранность дубков в значительной степени определяется их первоначальным числом и в последующие годы зависит от других факторов, таких как устойчивость к заморозкам, морозам, мучнистой росе и др.

Таким образом, сохранность дубков в географических культурах к 24-летнему возрасту составляет 1,8 ... 52,7 %. Она зависит от первоначального числа имеющихся (в данном случае 4-летних) растений. Географическое происхождение проявляется в меньшей степени. Лучшие показатели у потомств из зоны широколиственных лесов, особенно из Чувашско-Татарского и Центрального лесостепного лесосеменного районов. Дуб из зон хвойных и широколиственных лесов, а также лесостепной имеет близкую сохранность, но и здесь выделяются лучшие потомства из Центрального лесостепного и Заволжского степного лесосеменных районов. Плохо сохранился дуб из степной зоны. Число дубков из лесов РМЭ (местных) варьирует очень значительно, они не входят в группу лучших. Большинство сравниваемых географических культур имеют такие же и даже лучшие показатели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мамаев, С.А.* Основные принципы сохранения генофонда лесных древесных пород в СССР [Текст] / С.А. Мамаев // Охрана генофонда природной флоры. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 83–88.
2. *Незабудкин, Г.К.* Обследование и исследование лесных и плантационных культур [Текст] / Г.К. Незабудкин. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1971. – 52 с.
3. *Яковлев, А.С.* Дубравы Среднего Поволжья [Текст]: науч. изд. / А.С. Яковлев, И.А. Яковлев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – 352 с.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 20.01.06

*A.S. Yakovlev, S.V. Kirillov*

Mari State Technical University

#### **Conservation of Oak in Geographical Cultures**

Data on conservation of oak geographical cultures in Mari El Republic are provided. Oak acorns from the broad-leaved forest zone turned to be the best.

Keywords: geographical culture, oak, climatype, conservation

УДК 630\*561.1

**В.Г. Руссков**

Руссков Виталий Георгиевич родился в 1963 г., окончил в 1985 г. Сибирский технологический институт, аспирант Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет 4 печатные работы по изучению особенностей хода роста сосны обыкновенной и экологической оценке сосновых насаждений по Енисейскому меридиану.



### **ОСОБЕННОСТИ РОСТА В ВЫСОТУ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

Изучена изменчивость долговременной тенденции и периодических составляющих роста сосны обыкновенной в высоту. Выявлена ведущая роль внутриценотических факторов по сравнению с абиотическими.

*Ключевые слова:* ход роста, высота, временной тренд, периодичность, функция Митчерлиха.

В лесной таксации принято различать ход роста деревьев по высоте и диаметру. Подбор математической модели целесообразно начать для хода роста по высоте, поскольку это стабильный признак растительного организма, по которому идет естественный отбор, в отличие от диаметра, варьирующего намного сильнее. Некоторые исследователи отмечают большее влияние климатических факторов на ход роста по диаметру, чем по высоте. Высота деревьев в первую очередь отражает изменение условий местопрорастания и меньше – густоты насаждений [3, 5]. Кроме того, не случайно в основе бонитетной шкалы лежит средняя высота древостоев в определенном возрасте. Несмотря на то, что закономерности изменения этого показателя отражены в многочисленных таблицах хода роста, до сих пор нет полной математической модели процесса, учитывающей, кроме возраста древостоя, внутриценотические и климатические факторы.

Первое количественное описание процесса роста организмов сделал более 100 лет назад ботаник Ю. Сакс. Он показал, что кривая изменения размеров растений в течение их жизненного цикла, или большого периода роста, имеет характерную S-образную форму и четко выраженную верхнюю асимптоту. Кривая текущего прироста, являющаяся первой производной функции роста размеров организма, асимметрично колоколообразна; начинаясь с малой величины, прирост постепенно увеличивается, достигая в определенном возрасте максимального значения, а затем гиперболически снижается, приближаясь к нулю. В последующем эта закономерность была многократно подтверждена другими исследователями.

Исходя из современных взглядов, ход роста отдельного древесного организма довольно сложен. Его полная математическая модель представляет собой некоторую аддитивно-мультипликативную смесь функций воз-

растного тренда ( $A$ ), сложной волновой составляющей ( $W$ ) и случайной «шумовой» компоненты ( $Z$ ), т. е. имеет вид:  $Y_i = A_i + W_i + Z_i$  [1].

Особенно важно выделить временной тренд – ось большого жизненного цикла роста дерева, от которой происходят отклонения в процессе его развития. От функции возрастного тренда полностью зависят результаты определения ритмических составляющих.

Для описания временных рядов сроком до 160 лет лучше всего подходят функции Митчерлиха и Вейбулла, которые обеспечивают примерно одинаковую и довольно высокую точность аппроксимации исходных данных о ходе роста древостоев в высоту. Это полностью подтверждает выводы других исследователей [3]. На данном временном отрезке трудно отдать предпочтение какой-либо одной из функций, так как они описывают эмпирические данные со средней ошибкой меньше текущего годовичного прироста.

Факторы, влияющие на периодичность прироста, можно условно разделить на пять групп:

- 1) климатические;
- 2) внутриценотические, т. е. возникающие при взаимодействии между отдельными деревьями в древостое;
- 3) генетические, которые, по мнению некоторых авторов, вносят на разных этапах до 30 % всей изменчивости прироста в высоту;
- 4) фауна (насекомые), в частности фитофаги;
- 5) антропогенные, связанные с высокой посещаемостью лесов и влиянием выбросов промышленных предприятий.

Данная работа посвящена познанию закономерностей этого явления. В рамках исследования в Минусинских ленточных борах были заложены пять пробных площадей, на которых производили сплошной пересчет с отбором 12 ... 16 моделей деревьев различных классов роста. У моделей замеряли годовичные приросты в высоту. На одной пробной площади 39 моделей закартированы и срублены, чтобы установить взаимосвязь между цикличностью прироста и пространственным положением деревьев. В Красноярском заповеднике «Столбы», в различных частях ветровальников 2004 г., были заложены шесть пробных площадей, отличающихся по степени посещаемости. В нашу задачу входило исследовать эти площади, средние таксационные характеристики древостоя, его возрастную структуру и ход роста отдельных деревьев (моделей) в высоту. Попутно сравнивали ход роста деревьев различного возраста для оценки возможного влияния изменений климата.

Для аппроксимации роста в высоту использовали известную формулу А. Митчерлиха

$$H = b_1 \{1 - \exp[-1(b_2 A)]\}^{b_3}, \quad (1)$$

где  $H$  – текущая высота;

$b_1$  – предельная высота дерева (независимая переменная);

$b_2, b_3$  – параметры крутизны и формы кривой (зависимые переменные);

$A$  – возраст дерева.

## Ранговая корреляция Спирмена

$b_1$ и $b_2$	$b_1$ и $b_3$	$b_2$ и $b_3$
0,30	-0,46	0,44
-0,82	-0,53	0,79
-0,60	-0,13	0,75
-0,63	-0,24	0,85
-0,75	-0,67	0,95
-0,68	-0,57	0,95

Параметры уравнения А. Митчерлиха (1) довольно тесно взаимосвязаны (см. таблицу). Между параметрами формулы А. Митчерлиха (1) рассчитан коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Чтобы систематизировать полученные кривые, находили взаимосвязи между параметрами формулы А. Митчерлиха с использованием уравнения степенной функции типа

$$y = n_1 H_{\max}^{n_2},$$

где  $n_1, n_2$  – параметры;

$H_{\max}$  – предельная высота, или  $b_1$ .

Поскольку на двух пробных площадях древостои разновозрастные (деревья 60 и 100 лет), их разделили на поколения и рассчитали зависимости. В итоге получили нормированные кривые в диапазоне реальных максимальных высот древостоев пробных площадей. Далее исследовали отклонения фактических значений от расчетных, так как они несут определенный объем информации.

Полученные отклонения выравняли гармонической функцией

$$ZH = c_1 \cos(6,28A/c_2) + c_3 \sin(6,28A/c_2), \quad (2)$$

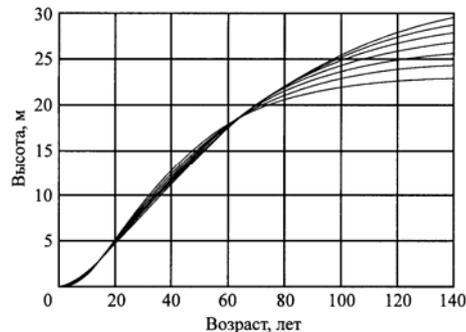
где  $ZH$  – выровненные отклонения от кривой роста;

$c_1$  – период, лет;

$c_2, c_3$  – коэффициенты формы и амплитуды.

При анализе полученных данных выяснилось, что для одновозрастных насаждений дважды наблюдается переверт пучка нормированных кривых возрастного тренда (рис. 1). Господствующие деревья до 15 ... 20 лет существенно обгоняют в росте других. В последующем, от 20 до 60 лет, оставшие догоняют и даже опережают господствующих, что, в свою очередь, приводит к быстрому исчерпанию ресурсов организма и, как следствие, последующему замедлению роста. Вероятно, чем интенсивнее растет организм, реализуя свои потенциальные возможности, тем раньше он стареет, вступая в противоречие со средой, ресурсы которой ограничены. Это приводит к падению темпов текущего прироста. Таким образом, силы роста всегда уравновешиваются силами противодействия среды, благодаря чему обеспечивается устойчивость динамической системы.

Рис. 1. Нормированные кривые в диапазоне реальных максимальных высот на ПП 1, 2005 г.



Упорядоченность кривых большого роста выражается во взаимосвязи параметров  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  функции Митчерлиха (1). Тесная связь между параметрами  $b_2$  и  $b_3$  говорит о том, что в трехмерном пространстве функции времени они лежат в одной плоскости, а при проекции на оси наблюдается разброс значений текущего прироста в одном и том же возрасте. По мнению Ю.П. Демакова [2], при использовании функции Митчерлиха (1) система классификации кривых роста должна иметь как минимум три уровня (входа):  $b_1$  (верхний предел),  $b_2$  (крутизна),  $b_3$  (форма). Эти три параметра отражают все многообразие форм кривых роста и являются главными классификационными признаками при делении насаждений на классы производительности, объективно отражающими качество среды обитания.

Чтобы оценить влияние генетического фактора на текущий прирост, анализировали вариацию нормированных кривых вокруг среднего в возрасте 10 лет, когда еще нет смыкания крон и корневых систем и для приблизительно одинаковых условий внешней среды различия могут быть объяснены в большей степени генетикой. Коэффициент вариации признака составляет 5,5 ... 49,0 %, в среднем 17,0 %, т. е. имеет место как узкий, так и почти на порядок больший диапазон варьирования признака. Это позволяет сделать вывод, что при узком диапазоне в ходе развития сохранились деревья с генетическими свойствами, соответствующими определенным условиям местопроизрастания, остальные элиминировали в ходе онтогенеза. При широком диапазоне условия произрастания не были столь критичны к генетическим свойствам.

Остатки между расчетными и эмпирическими рядами данных исследований, как отмечалось ранее [4], имеют ярко выраженную периодическую структуру (рис. 2) и в большинстве своем сдвинуты по оси времени относительно друг друга (рис. 3). Существует связь коэффициентов уравнения Мит-

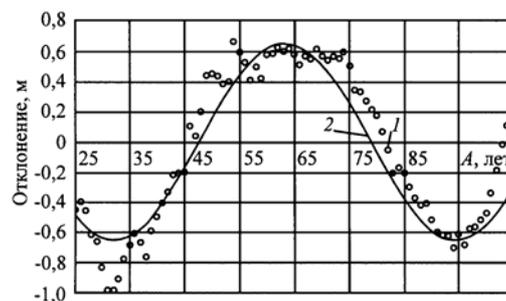
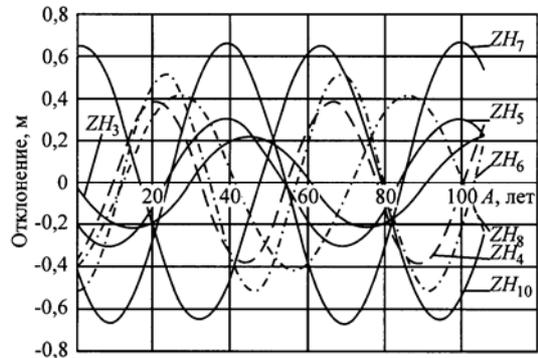


Рис. 2. Фактические (1) и выровненные (2) отклонения показателей роста в высоту для модельного дерева № 10 на ПП 1, 2004 г.

Рис. 3. Выровненные значения периодических отклонений показателей роста деревьев по высоте от кривой роста ( $ZH_3 - ZH_{10}$  – выровненные кривые для моделей № 3 – 10 на ПП 2, 2004 г.)



черлиха (1) и гармонической функции (2). Наиболее значительна связь между коэффициентом  $b_1$  – предельной высотой дерева и  $c_1$  – периодом гармонической функции (2). Следовательно, можно предположить, что с увеличением высоты дерева растет и период колебаний отклонений от кривой роста. Анализ показывает как синхронность, так и асинхронность роста близких деревьев. Коэффициент детерминации колеблется от  $-0,9$  до  $+0,9$ . Другими словами, ходу роста в высоту присущ волновой характер, имеют место автоколебания, что способствует повышению устойчивости древостоя к внешним воздействиям.

Влияние внешних факторов, в частности осадков и температуры, оценивали на основании данных Минусинской метеостанции за 80 лет. По нашему мнению, влияние этих факторов среды имеет каналный эффект [4], т. е. древостой, растущий в определенных лесорастительных условиях, приспособился к существующему гидротермическому режиму; если эти условия не выходят за рамки оптимальных, то реакция незначительна.

Если брать в целом взаимосвязь между осадками и температурой, с одной стороны, и приростом в высоту – с другой, то коэффициент детерминации на протяжении всей жизни деревьев находится на уровне  $0,30$ . Наиболее вероятная причина отклонений лежит во взаимодействии деревьев друг с другом (преобладают внутриценотические факторы).

#### Выводы

1. В ходе роста в высоту меняются темпы прироста деревьев и их статус в древостое, на что указывает переверот пучка нормированных кривых.
2. Отклонения от кривой роста имеют ярко выраженный гармонический характер. Они обусловлены, прежде всего, внутриценотическими факторами, а внешние условия (температура и осадки) слабо влияют и сглаживаются неодинаковой реакцией на них различных деревьев.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демаков, Ю.П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методические и методологические аспекты) [Текст] / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола, 2000. – 415 с.

2. Демаков, Ю.П. Изменчивость и классификация форм кривых хода роста деревьев в онтогенезе [Текст] / Ю.П. Демаков // Лесн. журн. – 2002. – № 4. – С. 33–40. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Кузьмичев, В.В. Закономерности роста древостоев [Текст] / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.

4. Руссков, В.Г. Исследование особенностей роста в высоту сосны обыкновенной [Текст] / В.Г. Руссков // Лесная таксация и лесоустройство. – Красноярск, 2004. – № 1 (33). – С. 34–37.

5. Sato, T. Forest biomass Hague etc [Text] / T. Sato, H. Madgwick. – 1982. – 150 p.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Поступила 14.03.06

*V.G. Russkov*

Forest Institute named after V.N. Sukhachev, Siberian Branch of RAS

### **Peculiarities of Scotch Pine Elongation in Eastern Siberia**

The variability of long-term tendency and cyclic constituents of the Scotch pine elongation is studied. The leading role of intra-coenotic factors in comparison with abiotic ones is revealed.

Keywords: growth progress, height, time trend, periodicity, Mitcherlich function.

---

УДК 582.632.1.085:581.52

**Т.Ю. Кузнецова, А.Ф. Титов, Л.В. Ветчинникова**

Кузнецова Татьяна Юрьевна родилась в 1980 г., окончила в 2003 г. Петрозаводский государственный университет, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и цитологии древесных растений Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет 23 печатные работы по изучению роста и развития древесных растений.



Титов Александр Федорович родился в 1949 г., окончил в 1972 г. Петрозаводский государственный университет, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией экологической физиологии растений Института биологии Карельского НЦ РАН, заведующий кафедрой ботаники и методики преподавания биологии Карельского государственного педагогического университета, член-корреспондент РАН, председатель Карельского НЦ РАН. Имеет более 400 научных публикаций в области устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды.



Ветчинникова Лидия Васильевна родилась в 1951 г., окончила в 1974 г. Петрозаводский государственный университет, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и цитологии древесных растений Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 140 научных публикаций по изучению роста и развития древесных растений.



**ВЛИЯНИЕ КАДМИЯ НА МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕРЕЗЫ IN VITRO**

Установлены заметные изменения в процессах роста побегов, формировании ассимиляционного аппарата и корневой системы, содержании пигментов и жирнокислотном составе отдельных фракций липидов побегов в зависимости от концентрации кадмия.

*Ключевые слова:* апикальная меристема, культура тканей, кадмий, пигменты, липиды, жирные кислоты, береза.

Среди многочисленных загрязнителей окружающей среды наиболее токсичными после пестицидов считаются тяжелые металлы [5, 6, 8]. Они практически не участвуют в процессах обмена, но активно поглощаются растениями и способны длительное время сохранять токсические свойства, оказывая негативное действие на организм [1, 3, 7]. Это влияние на древесные лесные растения изучено слабо.

Цель работы – исследовать влияние тяжелых металлов на некоторые физиолого-биохимические показатели растений рода *Betula* L. на ранних этапах онтогенеза. Объекты исследования – побеги березы повислой (*Betula pendula* Roth) и карельской (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti), полученные из апикальной меристемы в условиях *in vitro*. Ис-

ходная меристематическая ткань – сегменты побегов, состоящие из стебля (длина около 5 мм) и одного или двух листьев. Питательная среда – минеральная основа Мурашиге – Скуга [11]. Культивирование осуществляли в течение 30 дн. при  $t = +(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ , 16-часовом фотопериоде, освещенности 4500 лк и относительной влажности воздуха около 80 %. Корни образовывались в течение 14 ... 28 дн.

В питательную среду вносили уксуснокислую соль кадмия ( $\text{Cd}^{+2}$ ) в концентрациях  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$  или  $10^{-3}$  моль/л. Об устойчивости тканей березы к действию кадмия судили по их способности к морфо- и органогенезу (рост побегов, формирование ассимиляционного аппарата и корневой системы). Работу фотосинтетического аппарата растений березы оценивали по размеру листовых пластинок и содержанию пигментов, которые извлекали 80 %-м ацетоном и определяли спектрофотометрически.

Липиды из тканей экстрагировали смесью хлороформа и метанола по Фолчу [9]. Разделение липидов на фракции (нейтральные, глико- и фосфолипиды) проводили методом колоночной хроматографии с использованием силикагеля Bio-Sil A100-200 Mesh. Жирные кислоты исследовали в виде метиловых эфиров на газожидкостном хроматографе «Хроматэк – Кристалл-5000» (Россия) при температуре капиллярной колонки Zebron ZB-FFAP –  $225^\circ\text{C}$  (изотерма), испарителя –  $240^\circ\text{C}$ , детектора –  $250^\circ\text{C}$ . Скорость потока газа-носителя (азота) 50 мл/мин. Жирные кислоты идентифицировали с помощью стандартных жирных кислот-метчиков (Supelco, 37 компонентов), а также сопоставлением эквивалентной длины цепи (ECL) экспериментально полученных компонентов с известными данными [10].

Исследования показали, что в условиях культуры *in vitro* с увеличением концентрации ионов кадмия в питательной среде происходит его накопление в растущих побегах. Это приводит к ингибированию процессов морфо- и органогенеза у меристемы березы, степень которого зависит от концентрации металла.

Опытным путем выявлено небольшое стимулирующее действие кадмия в самой низкой концентрации ( $10^{-6}$  моль/л) на рост побегов, которое проявлялось уже на 7-й день (рис. 1). Положительное влияние отразилось также на суммарной площади фотосинтезирующей поверхности листьев: она увеличилась более чем на 20 %. Возрастание концентрации кадмия ( $10^{-5}$  моль/л) сопровождалось угнетением роста побегов, но без нарушения процессов закладки и формирования новых органов. При повышении концентрации кадмия до  $10^{-4}$  моль/л рост и развитие побегов прекращались; воздействие кадмия в концентрации  $10^{-3}$  моль/л оказалось критическим, рост побегов и развитие листьев полностью прекращались, а через 5 ... 7 дн. растения гибли. По-видимому, в этом случае нарушался процесс избирательного поглощения ионов, в результате поток токсичных ионов кадмия беспрепятственно поступал в растения, а механизмы детоксикации с ним уже не справлялись. Нарушения фотосинтетического аппарата под влиянием кадмия визуально проявлялись не только в изменении размеров листовых пластинок, но и в их хлорозе. Очевидно, основной причиной уменьшения

площади листьев стало негативное влияние металла на процессы деления и растяжения клеток [2, 4].

Необходимо отметить, что присутствие низких ( $10^{-6}$  моль/л) концентраций кадмия в среде заметно стимулировало образование корней и их рост в длину: спустя две недели длина вдвое превышала контроль. Однако увеличение концентрации кадмия до  $10^{-5}$  моль/л оказывало ингибирующее

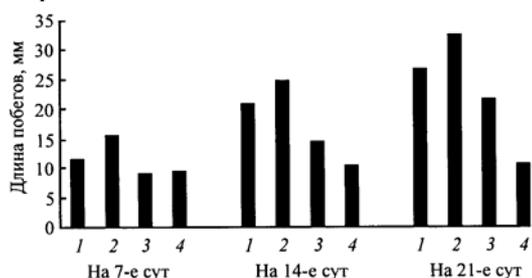
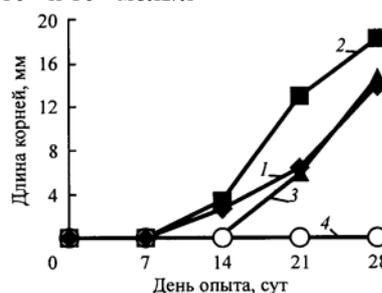


Рис. 1. Влияние кадмия на рост побегов: 1 – контроль; 2 – 4 – концентрация соответственно  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$  и  $10^{-4}$  моль/л

Рис. 2. Влияние кадмия на рост корней. Обозначения см. на рис. 1



влияние на скорость образования корней и их рост в длину: они развивались с отставанием на одну неделю по сравнению с контролем (рис. 2). В присутствии кадмия при концентрации  $10^{-4}$  моль/л и выше деление и растяжение клеток корня, очевидно, полностью блокировалось, поскольку образование корней не наблюдалось, а развитие растений сильно угнеталось, и уже через две недели они гибли.

В изученном диапазоне концентраций кадмия ( $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$  моль/л), несмотря на стимулирующее действие самой низкой из них на рост и развитие побегов, нами отмечено снижение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях соответственно на 10, 30, 70 % по отношению к контролю. Особенно заметно это проявилось в отношении суммы хлорофиллов (рис. 3).

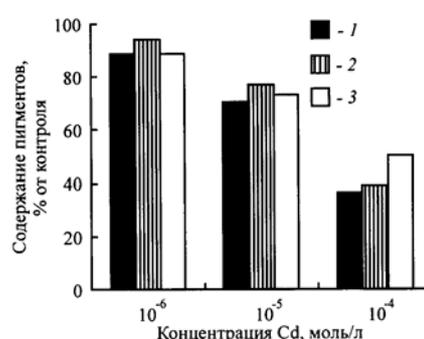


Рис. 3. Влияние кадмия на содержание пигментов: 1, 2 – хлорофилл <a> и <b> соответственно; 3 – каротиноиды

Длительное выращивание (в течение 30 сут) меристемы березы *in vitro* на среде с добавлением кадмия в концентрациях от  $10^{-6}$  до  $10^{-4}$  моль/л приводило также к существенным изменениям и в жирнокислотном составе липидов. Анализ нейтральных липидов, глико- и фосфолипидов показал, что в побегах, полученных *in vitro*, содержится около 15 жирных кислот с числом углеродных атомов от 14 до 24, однако относительное содержание каждой из них неодинаково (см. таблицу). Среди насыщенных жирных кислот преобладала пальмитиновая  $C_{16:0}$  (20 ... 25 %), а среди ненасыщенных – линолевая  $C_{18:2}$  (23 ... 40 %) и линоленовая  $C_{18:3}$  (18 ... 39 %).

Относительное содержание жирных кислот в липидах изученных тканей отличалось от контрольного варианта, но в разной степени в зависимости от фракции липидов (нейтральные, глико- и фосфолипиды) и концентрации вносимого металла. Так, если в контроле содержание ненасыщенных жирных кислот заметно преобладало над насыщенными: в нейтральных липидах – в 2,1 раза, в глико- и фосфолипидах – в 2,6 и 2,4 раза

соответственно, то внесение кадмия в концентрации  $10^{-4}$  моль/л вызывало увеличение доли насыщенных жирных кислот во всех фракциях исследованных липидов и уменьшение соотношения ненасыщенных жирных кислот к насыщенным (U/S). Более того, применение кадмия привело к почти полному выравниванию соотношения ненасыщенных и насыщенных жирных кислот, что особенно четко проявилось во фракции нейтральных липидов, где данный показатель был близок к единице.

Исследования показали, что увеличение содержания ионов кадмия в питательной среде приводило к повышению количества насыщенных жирных кислот. Однако во фракции нейтральных липидов оно обеспечивалось за счет пальмитиновой кислоты ( $C_{16:0}$ ), а во фракции гликолипидов, кроме того, стеариновой ( $C_{18:0}$ ) и длинноцепочковых жирных кислот ( $C_{\geq 20:0}$ ) на фоне снижения пальмитиновой.

Эти результаты подтверждают важную роль перекисного окисления липидов как основного механизма разрушения полиненасыщенных жирных кислот при действии тяжелых металлов. В частности, под влиянием кадмия разрушались ненасыщенные жирные кислоты. Только в вариантах с небольшими концентрациями кадмия ( $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$  моль/л) содержание линоленовой кислоты несколько увеличилось. При концентрации  $10^{-4}$  моль/л отмечено заметное падение ее относительного содержания, особенно резко выраженное во фракции гликолипидов. Исходя из этого, можно предположить, что стабилизация уровня линоленовой кислоты при незначительной концентрации металла достигалась за счет предотвращения ее окислительного разрушения и усиления синтеза данного компонента мембранных липидов.

Таким образом, влияние кадмия на рост и развитие побегов березы на ранних этапах онтогенеза отрицательно сказывается на целом комплексе морфо-физиологических изменений, включая замедление процессов роста и развития, снижение содержания зеленых пигментов и ингибирование синтеза ненасыщенных жирных кислот. Однако в низких концентрациях он спо-

способен оказывать стимулирующее влияние на рост побегов, формирование листового аппарата и процессы корнеобразования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях [Текст] / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. *Гуральчук, Ж.З.* Механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам [Текст] / Ж.З. Гуральчук // Физиология и биохимия культурных растений. – 1994. – Т. 26, № 2. – С. 107–117.
3. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях [Текст] / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 440 с.
4. *Кузнецов, В.В.* Физиология растений [Текст] / В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. – Изд. 2-е. – М.: Высш. шк., 2006. – 742 с.
5. *Кулагин, А.А.* Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей [Текст] / А.А. Кулагин, Ю.А. Шагиева. – М.: Наука, 2005. – 190 с.
6. *Никонов, В.В.* Рассеянные элементы в бореальных лесах [Текст] / В.В. Никонов [и др.]; отв. ред. А.С. Исаев. – М.: Наука, 2004. – 616 с.
7. *Титов, А.Ф.* Устойчивость растений к тяжелым металлам [Текст] / А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.М. Казнина, Г.Ф. Лайдинен. – Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. – 172 с.
8. *Черненкова, Т.В.* Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение [Текст] / Т.В. Черненкова – М.: Наука, 2002. – 191 с.
9. *Folch, J.* A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [Text] / J. Folch, M. Lees, G.H. Stanley // *Biol. Chem.* – 1957. – Vol. 226, N 1. – P. 497–509.
10. *Jamieson, G.R.* GLC identification techniques for long-chain unsaturated fatty acids [Text] / G.R. Jamieson // *Chromatogr. Sci.* – 1975. – Vol.13. – P. 491–497.
11. *Murashige, T.* A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco cultures [Text] / T. Murashige, F. Skoog // *Physiol. Plant.* – 1962. – Vol.15. – P. 437–497.

Институт леса Карельского НЦ РАН

Поступила 18.09.07

*T.Yu. Kuznetsova, A.F. Titov, L.V. Vetchinnikova*

Forest Institute of Karelian Scientific Centre of RAS

### **Influence of Cadmium on Morpho-physiological Characteristics of Birch *in vitro***

Visible changes are established in sprouts' growth processes, formation of assimilation apparatus and root system, content of pigments and fatty-acid composition of separate lipids' fractions of lipids of sprouts depending on cadmium concentration.

Keywords: apical system, tissue culture, cadmium, pigments, lipids, fatty acids, birch.

---

УДК 632.9

**О.Н. Ежов**

Ежов Олег Николаевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 50 печатных работ в области изучения лесопатологического состояния древостоев, биоиндикации загрязнения лесных экосистем, биоразнообразия грибных болезней и вредителей зеленых насаждений.



### **ВРЕДИТЕЛИ И БОЛЕЗНИ ГОРОДСКИХ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ АРХАНГЕЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА\***

Выявлены основные вредители и болезни зеленых насаждений г. Архангельска, Северодвинска, Новодвинска и насаждений специального назначения дендросадов АГТУ и СевНИИЛХа, определены особенности их появления и развития. Установлены породы, устойчивые к повреждению вредителями и болезнями.

*Ключевые слова:* древесно-кустарниковые породы, вредители, болезни.

Городские насаждения представляют собой весьма своеобразные экосистемы, адаптированные к неблагоприятным антропогенным воздействиям. В них переплетаются элементы открытого и закрытого ландшафтов, природных и культурных биоценозов, различных физико-географических зон, измененных условиями города. Интродуцированные виды здесь сочетаются с аборигенными, а факторы естественной природы со специфическими элементами городской среды. Таким насаждениям присуща малая экологическая надежность, они нуждаются в регулярной поддержке со стороны человека.

Аллеи, парки, скверы, рядовые посадки и объекты специального назначения находятся под влиянием разнообразных негативных факторов: сильно урбанизированная почва, нестабильный температурный режим, плохая аэрация, пыль, дым, газы, постоянный недостаток или избыток влаги и элементов питания, вандализм, механические повреждения. Воздействие этих факторов усиливается несовершенством системы содержания озелененных территорий и ухода за ними. Деревья и кустарники ослабляются, сильнее подвергаются нападению насекомых и появлению возбудителей болезней, что вызывает снижение долговечности, потерю декоративности и преждевременную гибель. Большое видовое разнообразие вредителей и бо-

---

\* Работа выполнена при поддержке администрации Архангельской области (договор № 14-04, 2004 г.).

лезней в городских насаждениях формируется из многих источников (питомники, близлежащие леса, объекты интродукции новых видов и форм и пр.) [4].

Нами в 2003–2005 гг. обследованы зеленые насаждения в наиболее крупных городах Архангельской области – Архангельске, Северодвинске и Новодвинске. Старейшими северными насаждениями специального назначения являются дендросады Архангельского государственного технического университета (АГТУ) и Северного НИИ лесного хозяйства (СевНИИЛХ). В них представлено соответственно более 200 и 600 видов древесно-кустарниковой растительности из различных частей Земного шара [1, 2]. Обследования проводили маршрутными ходами и методом индивидуального перечета.

Значительная часть древесно-кустарниковых пород за весь период наблюдений не имела признаков повреждений вредителями и болезнями. Этих пород достаточно много, их, в первую очередь, необходимо использовать при создании долговечных, высоко декоративных и устойчивых зеленых насаждений. Это ряд видов родов барбарис (*Berberis* L.), бересклет (*Euonymus* L.), дерен (*Cornus* L.), облепиха (*Hippophae* L.), пузыреплодник (*Physocarpus* Maxim.), рододендрон (*Rhododendron* L.), рябинник (*Sorbaria* A. Br.), таволга (*Spiraea* L.), ясень (*Fraxinus* L.), а также ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) и обыкновенная (*P. abies* (L.) Karst.), сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* L.) и стланиковая (*P. pumila* (Pall.) Regel), курильский чай кустарниковый (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) Rydb.), липа американская (*Tilia americana* L.), лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.), лох серебристый (*Elaeagnus argentea* Pursh.), магония падуболистная (*Mahonia aquifolium* Nutt.), туя западная (*Thuja occidentalis* L.), черемуха Маака (*Padus maackii* Kom.) и др.).

Среди грибных заболеваний в первую очередь отмечены грибы, вызывающие мучнистую росу, ржавчину и нектриевый рак стволов и ветвей.

Мучнистая роса на акации вызвана грибом *Microsphaera palczewski* Jacz., на боярышнике – *M. penicillata* Lev., на бузине – *M. vanbruntiana* Gerard., на дубе – *M. alphitoides* Griff. et Maubl., на жимолости – *M. Ionicerae* (D. C.) Wint, на розе – *Sphaerotheca pannosa* Lev. Первые признаки болезней отмечены уже в конце июня и связаны с теплой и влажной погодой, возможны проявления болезни и в августе. Чаще и интенсивнее поражается молодая поросль после обрезки. На разных видах бузины (*Sambucus* sp.) мучнистая роса развивается неодинаково: на бузине Зибольда (*S. Sieboldiana* Graebn.), камчатской (*S. kamtschatica* E. Wolf.) и канадской разрезнолистной (*S. canadensis* frac. *luciniata* L.) – в сильной степени, на других видах – канадской (*S. canadensis* L.), красной (*S. racemosa* L.), красной разрезнолистной (*S. racemosa* frac. *luciniata* L.) – менее интенсивно или ее вообще не было. У растений, произрастающих в затененных местах, признаки болезни появляются в первую очередь.

Чаще и интенсивнее поражаются рассмотренные породы в городских насаждениях и дендрарии АГТУ, что, очевидно, связано с ослаблением рас-

тений в результате комплекса факторов, формирующихся в городских условиях, и раннелетней обрезкой ветвей.

Достаточно широко распространен нектриевый некроз побегов (*Nectria cinnabarina* Fr.), который отмечен на боярышнике, бузине, бересклете, вязе гладком и шершавом, груше, ирге, клене, смородине. Так, основной причиной появления его на кленах является неправильная обрезка ветвей (оставление «пеньков»), которая в дальнейшем может привести к гибели дерева.

Для болезней типа «ржавчина» характерно присутствие промежуточного хозяина. В этом качестве могут выступать как древесные, так и травянистые растения (хвоя лиственницы – промежуточный хозяин для ржавчины листьев тополя, злаки – для ржавчины листьев барбариса). Гриб *Melampsorium betulae* (Schum.) вызывает данное заболевание на листьях березы, *Rhamsus betulae* (Schum.) – на жестере, р. *Melampsora* – на крушине, *M. evonymi-capraearum* Kleb. – на бересклете, *M. salicina* Lev. – на ивах, *M. larici populina* Kleb. – на лиственнице, *M. tremulae* Tul. – на осине, *M. populina* (Pers.) Lev. – на тополе, *Phragmidium disifrorumlames* и *Ph. tubercutum* Mill. – на розе. Разные виды барбарисов и рябин поражались грибами *Puccinia graminis* Pers. и *Gymnosporangium juniperi* Link в неодинаковой степени. Первые признаки появлялись в конце июня – начале июля. Наиболее устойчивые виды барбарисов – амурский (*Berberis amurensis* Rupr.), Тунберга (*B. Thunbergii* DC.), цельнокрайний (*B. integerrima* Bunge.), обыкновенный (*B. vulgaris* L.), тибетский (*B. thibetica* Schneid.), неокаймленный (*B. × emarginata* Willd.), сибирский (*B. sibirica* Pall.) и ряд других, а менее устойчивые – пурпуристный (*B. vulgaris* f. *atropurpurea* Rgl.), остистый (*B. aristata* DC.), продолговатый (*B. oblonga* Schneid.), многоцветковый (*B. polyantha* Hemsl.), круглопильчатый (*B. circumserrata* Schneid.). Устойчив к ржавчине листьев ряд видов рябин: бузинолистная (*Sorbus sambucifolia* Roem.), смешанная (*S. commixta* Hedl.), американская (*S. americana* Marsh.). Для предотвращения появления и развития данного заболевания необходимы профилактические мероприятия – удаление промежуточного хозяина (травянистая или древесная растительность).

Другие грибные заболевания представлены менее широко. Так, на яблоне отмечена парша (*Venturia inaequalis* (Cooke) Wint.), на клене полевым ежегодно в конце лета – черная точечная пятнистость (*Phytisma punctatum* Fr.), на рябине – пятнистость листьев (*Fusicladium orbiculatum* (Desm.) Thum.), на тополях – парша (*Pollacia radiosa* (Lib.) Bald.) и бурая пятнистость (*Merssonina populi* Kleb.).

Городские зеленые насаждения относительно молоды, поэтому деструктурирующие грибы отмечались в них редко и видовое разнообразие было невелико. Из деструктурирующих грибов нами обнаружены тополевый трутовик (*Oxyporus populinus* (Schumach.:Fr.) Donk) на липе, тополе и клене, ложный трутовик (*Phellinus igniarius* (L.:Fr.) Quel.) на дубе, вязах, яблонях и др., трутовик изменчивый (*Polyporus varius* Fr.) на ясене, липе, березовая чага (*Inonotus obliquus* (Fr.) Pilat) на березе.

Видовое разнообразие насекомых-вредителей более выражено, при определенных условиях они способны вызывать местные эпифитотии и причинять некоторый ущерб городским зеленым насаждениям. Наиболее существенный вред причиняет черемуховая горностаевая моль (*Hyponomeuta evonymella* L.), которая появляется в конце июня. Ее гусеницы полностью объедают листву, опутывая дерево паутиной, позднее листва вновь образуется, а вредитель зимует вблизи ствола, в земле. Если не принимаются меры борьбы (исключая рубку деревьев), деревья (кроме черемухи Маака) повреждаются практически ежегодно. Ранее этот вредитель не отмечался, его появление, возможно, связано с потеплением климата [3] и промышленным загрязнением.

Минирование листьев вызывают насекомые из различных семейств. Так, жимолость повреждают жимолостная и звездообразная мушки (*Phytomyza xylostei* R. D. и *Napomyza xylostei* Kalt.) сем. *Agromyzidae* (минирующие мушки), лиственницу – лиственничная чехликовая моль (*Coleophora laricella* Hb.) сем. *Coleophoridae* (чехликовые моли), сирень – сиреневая моль (*Xanthospilapteryx syringella* F.) сем. *Gracilariidae* (моли-пестрянки), ольху – ольховый минирующий пилильщик (*Phyllotoma vagans* Cl.) сем. *Tenthredinidae* (пилильщики) и булавовидный клещик (*Eriophyes laevis inangulis* Nal.) сем. *Eriophyidae* (растительные клещи), розу – розанная одноцветная моль (*Tischeria angusticolella* Z.) сем. *Tischeriidae* (одноцветковые моли), черемуху – яблоневая минирующая моль (*Lyonetia clerckella* L.) сем. *Lyonetiidae* (минирующие моли). Данный тип повреждения несколько снижает декоративность деревьев, но не оказывает существенного влияния на их общее состояние.

На айве, боярышнике наблюдалось скелетирование листьев, на тополях данное повреждение наносили осиновый и тополевыи листоеды (*Melasma tremulae* F., *M. populi* L.) сем. *Chrysomelidae* (листоеды). Листья роз объедены пчелой-листорезом (*Megachile centuncularis* L.) сем. *Megachilidae* (пчелы-листорезы).

Достаточно широко представлены тли (сем. *Aphididae*), которые появлялись в конце июня – начале июля. Так, тля Мордвилко (*Aphis mordvilko* Börn) и калиновая (*A. viburnorum* F.) отмечены на калине в середине июня, злаково-черемуховая (*Siphonaphis padi* L.) на черемухе обыкновенной, елово-пихтовый кавказский хермес (*Dreyfusia nordmanniana* Eckst.) сем. *Chermesidae* (хермесы) на пихте, верхушечная жимолостная тля (*Hayhurstia tataricae* Aizend.) на жимолости татарской, жасминная (*Aphis philadelphia* Voern.) на жасмине. Тли, живущие большими колониями, существенно снижали декоративность насаждений, поскольку усыхали листья и побеги, кроме того, из-за сахаристых выделений тлей листья чернели.

Галлы на листьях вязов ежегодно в конце июня образовывали осоковязовая (*Colopha compressa* Koch.), злаково-вязовая (*Tetraneura ulmi* Deg.), смородинно-вязовая тли (*Eriosoma ulmi* L.) и вязовый мешетчатый клещик (*Eriophyes ulmicola-brevipunctatus* Nal.) сем. *Eriophyidae* (растительные клещи), на березе – березовый галловый клещик (*Eriophyes laevis lionotus* Nal.),

на розе – розанная орехотворка (*Phodites rosarum* Gir.) сем. *Cynipidae* (орехотворки). Тли причиняли более существенный ущерб вязу гладкому (*Ulmus laevis* Pall.), появлялись вскоре после распускания листьев в массовом количестве, существенно снижая декоративность деревьев.

Вредители из сем. *Eriophyidae* (растительные клещи) – липовый войлочный клещик (*Eriophyes tiliae* var. *liosoma* Nal.) и липовый жилковый клещик (*E. tiliae* var. *nervalis* Nal.) – вызывали образование войлочков на листьях липы (кроме американской), снижалась декоративность насаждений. Меньше заселялись одиночно расположенные деревья в отличие от посадок аллеями или группами.

Результаты исследований позволяют с уверенностью утверждать, что условия города существенно влияют на видовое разнообразие вредителей и болезней. Оно может сокращаться (нет болезни типа «ржавчина») или увеличиваться (повреждения черемуховой горностаевой молью, мучнисторосяными грибами, паршой листьев яблони и др.), что, очевидно, связано как с биотическими факторами (наличие или отсутствие промежуточных хозяев, характер посадки и др.), так и абиотическими (загрязнение воздушного бассейна и почв, плохая продуваемость и освещенность).

Биоразнообразие вредителей и болезней интродуцированных пород невелико, местные эпифитотии встречаются редко. Наиболее часто отмечены ржавчина, нектриевый рак, мучнистая роса, минирование, скелетирование листьев и образование галлов. Выявлен ряд пород без признаков повреждения. В целом зеленые насаждения городов Архангельского промышленного узла можно считать относительно здоровыми.

Полученные данные можно использовать для создания высокодекоративных и устойчивых зеленых насаждений.

Автор выражает благодарность сотрудникам дендросада СевНИИЛХа и дендрария АГТУ за помощь в сборе полевого материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малаховец, П.М. Деревья и кустарники дендросада Архангельского государственного технического университета [Текст]: учеб. пособие / П.М. Малаховец, В.А. Тисова. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 50 с.
2. Нилов, В.Н. Древесные растения дендрологического сада АИЛиЛХ [Текст]: каталог коллекционного фонда / В.Н. Нилов. – Архангельск, 1990. – 86 с.
3. Проблемы экологии Архангельской области на рубеже веков: приоритеты, направления, стратегии. – Архангельск: Изд-во СГМУ, 2002. – С. 182–186.
4. Соколова, Э.С. Состояние древесных и кустарниковых пород в живых изгородях и их повреждаемость болезнями [Текст] / Э.С. Соколова // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: науч. тр. – М.: МГУЛ, 1998. – Вып. 294 (1). – С. 41–46.

Институт экологических проблем  
Севера УрО РАН

Поступила 20.04.06

*O.N. Ezhov*

Institute of Ecological Problems of the North Ural Branch of RAS

---

---

## **Pests and Diseases of Municipal Green Plantations of Arkhangelsk Industrial Centre**

The main pests and diseases of green plantations of Arkhangelsk, Severodvinsk, Novodvinsk and plantations of special purpose – arboretums of Arkhangelsk State Technical University and Northern Research Institute of Forestry – are revealed; peculiarities of their appearing and development are determined. Species stable to pests and diseases are established.

Keywords: hardy-shrub species, pests, diseases.

---

---

УДК 630\*935.4: 502.5: 528.88

*Д.А. Добрынин*

Добрынин Денис Александрович родился в 1983 г., окончил в 2005 г. Поморский государственный университет, аспирант кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Архангельского государственного технического университета. Имеет 2 печатные работы в области оценки эффективности сохранения лесов на ООПТ.



### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОХРАНЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ В СИСТЕМЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ\***

Проведена оценка эффективности сохранения естественных лесных ландшафтов в системе особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Архангельской области с использованием ГИС и спутниковых изображений. Выявлена адекватность существующего режима охраны и динамика антропогенных изменений лесного покрова на ООПТ, эффективность сохранения малонарушенных лесных территорий. Приведены рекомендации по оптимизации существующих и приоритеты для создания новых ООПТ.

*Ключевые слова:* особо охраняемая природная территория, лесопользование, геоинформационная система, спутниковое изображение.

Конвенция по биологическому разнообразию определяет особо охраняемую природную территорию (ООПТ) как «географически выделенный участок со статусом регулирования или управления для достижения специальных природоохранных целей». В Архангельской области по состоянию на 15 июля 2007 г., насчитывалось 110 ООПТ общей площадью 6496,4 тыс. га. Без ООПТ, не входящих в земли лесного фонда, они занимают 2247,8 тыс. га (7,6 % от площади этих земель) [2].

Очевидно, что общая площадь ООПТ – недостаточный критерий для оценки эффективности их функционирования. Рассмотрим эффективность сохранения естественных лесных ландшафтов по трем параметрам.

1. Адекватность существующего режима охраны ООПТ (совокупность ограничений природопользования, в частности лесопользования).
2. Динамика антропогенных изменений лесного покрова на ООПТ.
3. Эффективность сохранения малонарушенных лесных территорий.

#### *Анализ ограничений лесопользования*

Лесопользование – это наиболее распространенный и значительный по воздействию на естественные экосистемы вариант природопользования в

---

\* Материалы получены в рамках деятельности Архангельского проектного офиса WWF, ОГУ «Дирекция особо охраняемых природных территорий регионального значения» и НИИ леса Финляндии.

пределах материковой части таежной зоны Архангельской области. В связи с этим нами собрана и проанализирована информация о существующих ограничениях на лесопользование на всех ООПТ региона. Источниками информации служили: нормативный правовой акт об образовании ООПТ; индивидуальное положение об ООПТ; документ на право пользования земельным участком (земельными участками); иные документы по организации, функционированию и реорганизации ООПТ.

Нами выявлено, что в группу с запретом всех рубок леса входят 12 ООПТ площадью 616,1 тыс. га, или 2,1 % от площади земель лесного фонда области. Группа с запретом только рубок главного пользования включает 51 ООПТ общей площадью 1649,8 тыс. га (из них лесные – 1601,2 тыс. га, или 5,4 %). ООПТ, на которых ограничений на рубки нет или они не установлены, занимают 30,5 тыс. га (из них лесные – 30,4 тыс. га, или 0,1 %).

#### *Динамика антропогенных изменений лесного покрова*

Доступные исторические спутниковые изображения Landsat TM / ETM дают возможность получить данные об антропогенных изменениях лесного покрова, произошедших с начала 1990-х гг. В связи с этим нами проанализированы изменения лесного покрова, вызванные сплошными рубками. Исследования проводили согласно методике Объединенного научного центра Европейской комиссии [4]. Была выполнена полевая верификация космических снимков, заключающаяся в репрезентативном наборе описаний вторичных лесов. В результате ГИС-анализа установлены полигоны сплошных вырубок 1990–2000 гг. (рис. 1). Эти данные позволили оценить

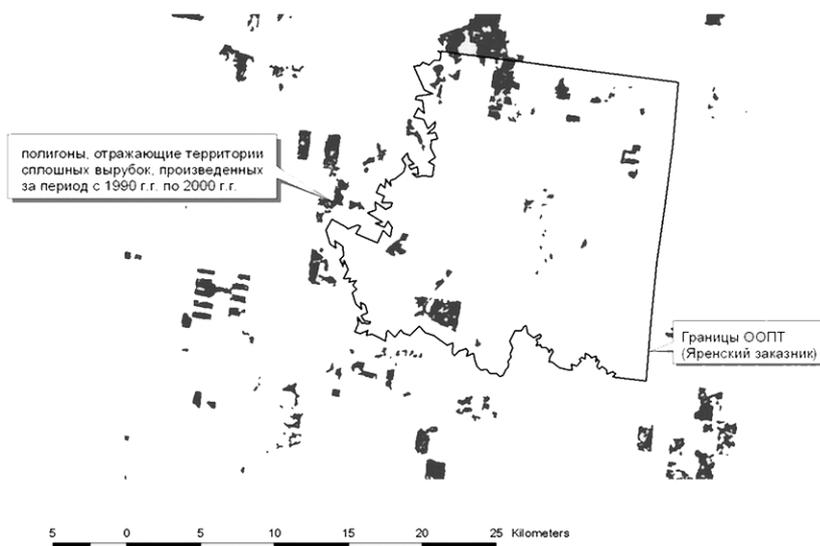


Рис. 1. Полигоны сплошных вырубок на ООПТ (на примере Яренского биологического заказника)

динамику антропогенных изменений лесного покрова на ООПТ за указанный период, т. е. степень вовлечения лесов в лесозаготовительную деятельность. Результаты представлены в таблице.

Итак, в пределах ООПТ Архангельской области нами выявлена достаточно высокая лесозаготовительная активность. Средняя площадь сплошных вырубок за рассматриваемый нами 10-летний период составила 1,4 %, максимальная – 8 % от площади ООПТ. На 10 ООПТ, в числе которых 9 заказников и 1 заповедник, не обнаружены антропогенные изменения лесного покрова.

#### Характеристика ООПТ Архангельской области

ООПТ	Категория ООПТ	Площадь малонарушенных лесных территорий на ООПТ, тыс. га	Доля сплошных вырубок за рассматриваемый период, % от площади ООПТ	ООПТ	Категория ООПТ	Площадь малонарушенных лесных территорий на ООПТ, тыс. га	Доля сплошных вырубок за рассматриваемый период, % от площади ООПТ
Беломорский	Заказник	0	1,1	Пермиловский	Заказник	0	0,9
Важский	«	0	0,6	Пинежский	Заповедник	45,8	0,0
Веркольский	«	24,2	0,9	Плесецкий	Заказник	0	0,7
Вилегодский	«	0	0,7	Приморский	«	303,0	0,0
Водлозерский	Национальный парк	310,1	1,2	Пучкомский	«	11,9	0,0
Двинской	Заказник	0	0,0	Селенгинский	«	0	0,0
Железные ворота	«	4,2	1,1	Сийский	«	0	0,5
Кенозерский	Национальный парк	0	0,6	Сольвычегодский	«	0	0,2
Клоновский	Заказник	4,4	1,2	Соянский	«	294,4	0,1
Кожозерский	«	190,9	3,6	Сурский	«	6,1	4,1
Коношский	«	0	4,5	Унский	«	8,2	0,0
Котласский	«	0	3,7	Усть-			
Кулойский	«	0	4,0	Четласский	«	2,2	0,0
Лачский	«	0	0,0	Устьянский	«	0	1,2
Ленский	«	13,5	8,0	Филатовский	«	0	0,6
Монастырский	«	12,6	2,5	Чугский	«	0,4	0,6
Мудьюгский	«	0	0,0	Шиловский	«	0	0,0
Онский	«	18,3	0,1	Шултусский	«	0	4,3
				Яренский	«	0	4,7

*Эффективность сохранения малонарушенных лесных территорий*

Очевидно, что наиболее ценными и в то же время уязвимыми природными объектами Архангельской области являются массивы малонарушенных лесных территорий (МЛТ). МЛТ – это единые природные территории, не разделенные элементами антропогенной инфраструктуры на отдельные изолированные части, имеющие площадь более 50 тыс. га и минимальный линейный размер (ширину) не менее 10 км. В пределах таких территорий может устойчиво поддерживаться большинство природных ценностей и естественных механизмов самоорганизации таежных ландшафтов [3].

МЛТ составляют 9 % общей площади европейской части России и 13,8 % от площади лесной зоны [1]. В Архангельской области нами установлены 14 обособленных массивов малонарушенных лесов площадью около 9 539,3 тыс. га, или 23,2 % общей площади земель области и 32,4 % земель лесного фонда [2]. Особенности расположения МЛТ по состоянию на 2004 г. представлены на рис. 2.

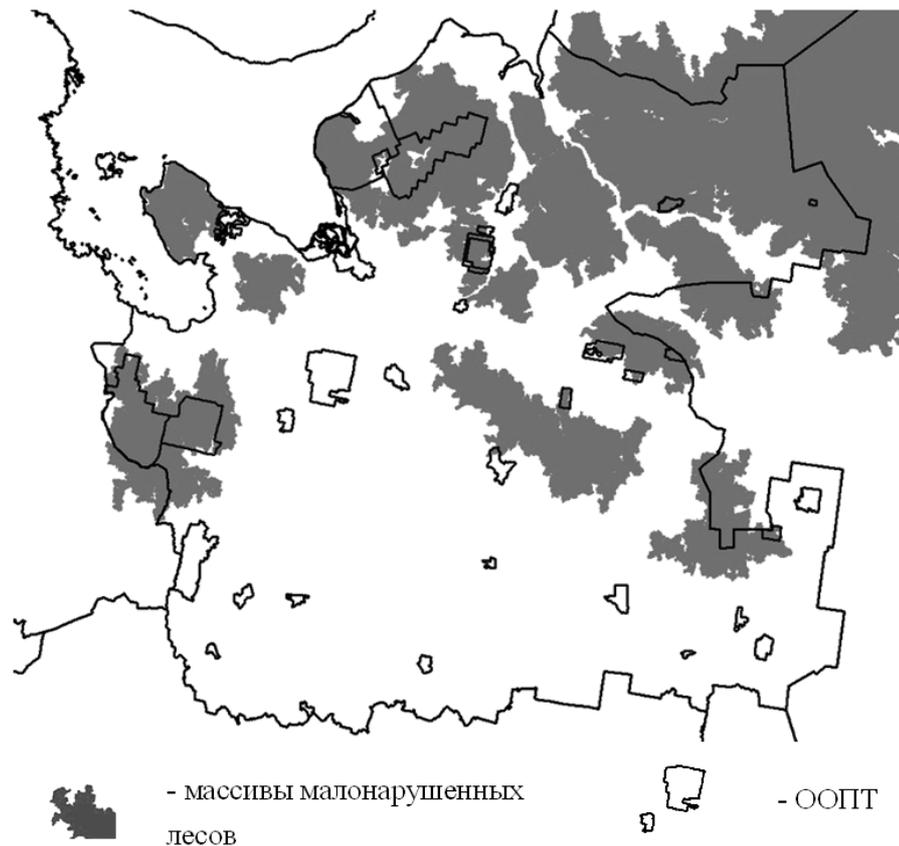


Рис. 2. ООПТ и малонарушенные лесные территории Архангельской области

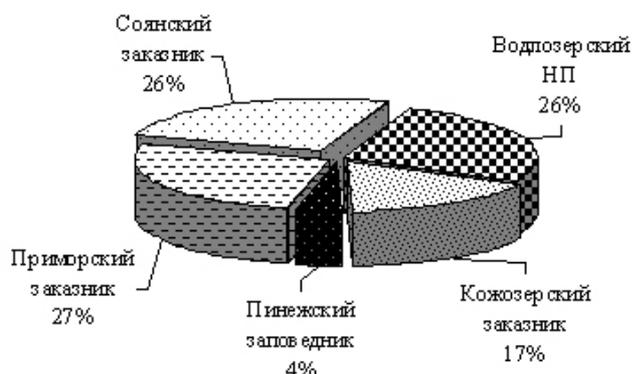


Рис. 3. Роль отдельных ООПТ в сохранении малонарушенных лесных территорий Архангельской области

С помощью ГИС нами выявлено, что критерию минимальной площади, обеспечивающей сохранение МЛТ (50 тыс. га), соответствуют лишь 5 из 16 ООПТ Архангельской области, в пределах которых расположены малонарушенные леса. Из них федерального значения имеют Пинежский заповедник и Водлозерский НП; региональное – Кожозерский, Соянский и Приморский заказники. Площадь МЛТ в границах этих пяти ООПТ составляет 1144 тыс. га, т. е. 12,1 % общей площади МЛТ. Доля каждой ООПТ в сохранении малонарушенных лесов показана на рис. 3.

Абсолютно не защищенной ООПТ и в то же время наиболее активно вырубаемым в настоящее время является малонарушенный лесной массив, расположенный в междуречье Северной Двины и Пинеги. Он имеет высокую природоохранную ценность как самый крупный малонарушенный лесной массив в средней тайге европейской части России, не затронутый рубками, поэтому служит эталоном лесов среднетаежной подзоны. Кроме того, рассматриваемая территория обладает высоким биологическим и ландшафтным разнообразием.

Проведенные исследования позволяют дать следующие рекомендации.

1. Эффективность сохранения естественных лесных ландшафтов может быть повышена в результате оптимизации существующих и создания новых ООПТ.

2. Оптимизация существующих ООПТ включает в себя: определение приоритетного назначения, проведение зонирования, выбор адекватного режима охраны.

3. Приоритетом для создания новых ООПТ являются малонарушенные ландшафты площадью не менее 50 тыс. га, режим охраны в которых запрещает все виды рубок леса.

4. Первоочередная задача развития системы ООПТ Архангельской области заключается в создании ландшафтного заказника для сохранения

Двинско-Пинежского малонарушенного лесного массива. Исходя из местных социально-экономических условий, его площадь должна быть максимальной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, Д.Е. Атлас малонарушенных лесных территорий России [Текст] / Д.Е. Аксенов [и др.]. – М.: Изд-во МСЭЭС, 2003. – 186 с.
2. Герасимов, Ю.Ю. Анализ ограничений лесопользования на особо охраняемых природных территориях и в малонарушенных лесах Архангельской области [Текст] / Ю.Ю. Герасимов, А.В. Марковский, О.В. Ильина, Д.А. Добрынин. – Хельсинки: НИИ леса Финляндии, Исслед. центр Йёнсуу, 2007. – 115 с. (<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp056.htm>)
3. Ярошенко, А.Ю. Малонарушенные лесные территории Европейского Севера России [Текст] / А.Ю. Ярошенко, П.В. Потапов, С.А. Турубанова. – М.: Гринпис России, 2001. – 75 с.
4. Stibig, H.-J. Feasibility study on the use of medium resolution satellite data for the detection of forest cover change caused by clear cutting of coniferous forests in the northwest of Eurasia [Text] / H.-J. Stibig, T. Bucha. – Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre of the European Commission, Ispra, Italy, 2005. – 42 p.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 12.11.07

*D.A. Dobrynin*

Arkhangelsk State Technical University

### **Efficiency of Natural Forest Landscapes Conservation in System of Protected Territories of Arkhangelsk Region**

The efficiency evaluation of conservation of natural forest landscapes conservation is carried out within the system of protected territories of the Arkhangelsk region using GIS and satellite images. The adequacy of the existing protection mode, dynamics of anthropogenic changes of the forest canopy on PT and the efficiency of conservation of intact forest territories are revealed. Recommendations regarding optimization of existing PT and priorities for creating new PT are provided.

Keywords: protected nature territory, forest use, geoinformation system, satellite image.

---



УДК 630\*377

*Э.М. Гусейнов, Р.Э. Гусейнов*

Гусейнов Эльдар Муса оглы родился в 1949 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 60 печатных трудов в области механизации лесохозяйственных работ.



### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО СОРТИМЕНТОВОЗА С ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ПОДВЕСОМ

Изложены графоаналитическое моделирование двухступенчатого подвеса СВ, интегральная вибронагруженность по ступеням подвеса и параметрическая оптимизация упруго-диссипативных связей, в том числе нелинейных.

*Ключевые слова:* уравнения состояния, дисперсии реакций, параметры связей, минимизация, оптимальные параметры.

Вибронагруженность ходовой части сортиментовоза (СВ) зависит от взаимодействия шин и пути, надежности и долговечности подвеса, плавности хода машины. Параметрическая оптимизация упруго-диссипативных связей подвеса – основной путь снижения его вибронагруженности и, как следствие, повышения плавности хода машины.

На рис. 1 приведена расчетная схема трехосного СВ в продольно-вертикальной плоскости симметрии базой рамного блока  $l = l_1 + l_2$  и тележки  $l_T$ , где обозначены:

$m, J$  – масса и момент инерции рамного блока;

$m_1, m_2$  – массы колесной пары с мостом и двухосной тележки;

$c_{к1}, c_{к2}, c_{р1}, c_{р2}$  – жесткости шин и рессор переднего/заднего подвеса;

$\beta_{к1}, \beta_{к2}, \beta_{р1}, \beta_{р2}$  – линеаризованные параметры демпфирования;

$x_{1,2}, x_{к1,2}$  – вертикальные деформации рессор и шин:

$$x_{1,2} = z \pm l_{1,2}\varphi - z_{1,2}; \quad x_{к1,2} = z_{1,2} - z_{к1,2}; \quad h_0 = h_c h_{ш} / r.$$

Уравнения Лагранжа для модели рис. 1 с квазисимметрией  $J = (1 \pm 0,2) m l_1 l_2$  в операторно-матричной форме  $d / dt = p$  имеют вид

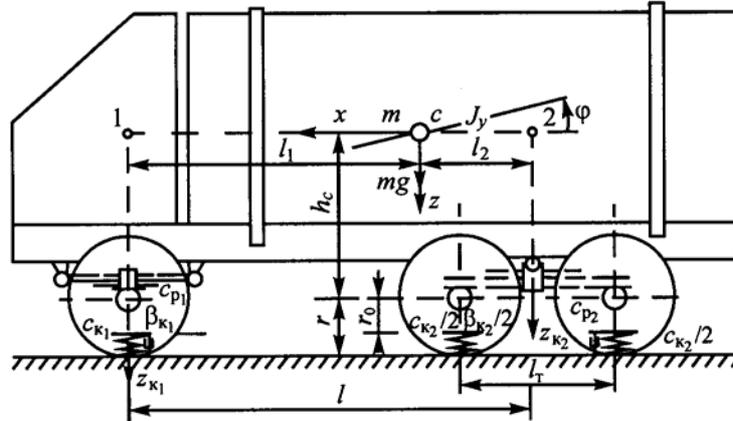


Рис. 1. Расчетная схема двухступенчатого подвеса сортировоза в продольно-вертикальной плоскости симметрии

$$\begin{pmatrix} m_{\text{п}} p^2 + \beta_{\text{п}} p + c_{\text{п}} & m_{\text{п}} p^2 & -m_{\text{п}} p^2 z_{\text{к}}(p) \\ -(\beta_{\text{п}} p + c_{\text{п}}) & m_{\text{к}} p^2 + \beta_{\text{к}} p + c_{\text{к}} & -m_{\text{к}} p^2 z_{\text{к}}(p) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Определитель системы

$$\Delta(p) = p^4 \mu_0 m_{\text{п}}^2 + p^3 m_{\text{п}} (\beta_{\text{п}} \mu_0 + \beta_{\text{к}}) + p^2 [m_{\text{п}} (c_{\text{п}} \mu_0 + c_{\text{к}}) + \beta_{\text{п}} \beta_{\text{к}}] + p (\beta_{\text{п}} c_{\text{к}} + \beta_{\text{к}} c_{\text{п}}) + c_{\text{к}} c_{\text{п}}, \quad \mu_0 = 1 + \mu. \quad (2)$$

Малая и даже ограниченная диссипация ( $\nu \leq 0,32$ ) весьма слабо влияет на частоты системы. Поэтому их обычно вычисляют из частотного уравнения  $\Delta(\lambda^2) = 0$  при  $\beta_{\text{к}} = \beta_{\text{п}} = 0$ ,  $p = i\lambda$ ,  $i = \sqrt{-1}$ , а при ограничениях  $\mu \leq 0,2$ ,  $c_{\text{п}} / c_{\text{к}} \leq 0,3$  получают методом итераций:

$$\lambda_1^2 \approx \nu_{\text{п}}^2 \delta; \quad \delta = f_{\text{п}} / f_{\Sigma}; \quad \nu_{\text{п}}^2 = \frac{c_{\text{п}}}{m_{\text{п}}} = \frac{g}{f}; \quad \lambda_2^2 \approx \frac{\mu_0}{\mu} = \frac{\lambda_1^2}{\delta(1-\delta)}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – доля прогиба рессор  $f_{\text{п}}$  от суммарного  $f_{\Sigma} = f_{\text{п}} + f_{\text{к}}$ .

Передаточные функции деформаций связей (рессор  $x$  и шин  $x_{\text{к}}$  заднего подвеса) по матрице (1) и Крамеру равны:

$$\begin{aligned} \eta_x(p) &= \Delta_x(p) / \Delta(p) z_{\text{к}}(p) = k_0 m \omega^2 (c_{\text{к}} + \beta_{\text{к}} p) / \Delta(p); \\ \eta_{x_{\text{к}}}(p) &= \Delta_{x_{\text{к}}}(p) / \Delta(p) \quad z_{\text{к}}(p) = k_0 m \omega^2 [\mu m_{\text{п}} p^2 + \mu_0 \beta_{\text{п}} p + \mu_0 c_{\text{п}}] / \Delta(p), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $k_0$  – усредненный по теореме Лагранжа о среднем коэффициент осности тележки.

В задачах параметрической оптимизации с использованием стандартных интегралов дисперсий реакций подвеса СВ и получением инженер-

ных расчетных формул весьма важны простейшие аппроксимации\* спектра неровности пути, отражающие доминирующую кривую спектральной плотности.

Дисперсии деформации  $x_k$ ,  $x$  реакции  $R_k = c_k x_k$ ,  $P_p = c_p x + \beta_p \dot{x}$  и скорости деформации  $\dot{x}$  при  $p = i\omega$ ,  $\beta_k \approx 0$  и простейшей аппроксимации спектра неровности пути  $S_k = \zeta v / \omega^2$ :

$$\begin{aligned} D_{r_k} &= c_k^2 D_{x_k} = \frac{c_k^2}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\eta_{x_k}(i\omega)|^2 S_k(\omega) d\omega = \\ &= \zeta v \frac{c_p c_k}{8\vartheta_p v_T} \mu_0 \left[ \mu_0 \delta_k - 2\mu + \frac{\mu}{\delta_k} + 4\vartheta_p \mu_0 \right]; \quad (5) \\ \delta_k &= f_k / f_p; \quad \vartheta_p = \beta_p / 2\sqrt{c_p m_{\Pi}}; \end{aligned}$$

$$D_{\dot{x}} = \zeta v c_k / (4\beta_p); \quad D_x = \zeta v m_{\Pi} \mu_0 / (4\beta_p); \quad R_p = \beta_p \dot{x} + c_p x; \quad (6)$$

$$D_p = \beta_p^2 D_{\dot{x}} + c_p^2 D_x = \frac{\zeta v}{4} (c_k \beta_p + \mu_0 m c_p^2 / \beta_p).$$

Функционал  $D_{r_k}(\alpha_i)$  пропорционален воздействию пути  $\zeta v$ , жесткостям подвеса  $c_p$ ,  $c_k$  и имеет минимум по соотношениям  $\delta_k = f_k / f_p$  и  $\vartheta_p = \beta_p / \beta_{p_{кр}}$ ;  $\beta_{p_{кр}} = 2\sqrt{c_p m_{\Pi}}$ . Минимизация дисперсии  $D_{r_k}(\delta_k, \vartheta_p)$  дает оптимальные расчетные соотношения:

$$\begin{aligned} \partial D_{r_k} / \partial \alpha_i &= 0; \quad \delta_k^0 = f_k / f_p = \sqrt{\mu / \mu_0}; \quad \delta^0 = f / f_{\Sigma} = (1 + \delta_k)^{-1}; \quad (7) \\ \vartheta_p^0 &= [\delta_k \mu_0 + \mu(\delta_k^{-1} - 2)] / (4\mu_0); \quad \beta_p^0 = 2\vartheta_p^0 \sqrt{c_p m}. \end{aligned}$$

Для  $\mu = 0,2$ ,  $\mu_0 = 1,2$  имеем  $\delta_k^0 = 0,41$ ;  $\delta^0 = 0,71$ ;  $\vartheta_p^0 = 0,35$ .

Функционал  $D_p(\alpha_i)$  пропорционален возмущению пути  $\zeta v$ , жесткостям  $c_k$ ,  $c_p^2$  и имеет минимум по параметру диссипации  $\beta_p = 2\vartheta_p \sqrt{c_p m_{\Pi}}$ :

$$\frac{\partial D_p}{\partial \beta_p} = 0; \quad \beta_p^{0,2} = \frac{\mu_0 m c_p^2}{c_k}; \quad \vartheta_p^0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu_0 c_p}{c_k}} = \frac{\sqrt{\delta_k}}{2}; \quad \delta_k = \frac{f_k}{f_p}. \quad (8)$$

При  $\mu = 0,2$   $\delta_k = 0,41$ ;  $\vartheta_p^0 = 0,32$ . Результаты оптимизации (7), (8) по критериям вибронагруженности и плавности хода отличаются незначительно. Более того, при  $\mu \leq 0,2$   $\delta \geq 0,75$  в первой ступени подвеса (шинах) не требуется автономного демпфирования. Этим достигаются высокие виброзащитные качества подвеса.

\* Варова, В.И. Снижение нагруженности колесных лесохозяйственных машин и лесной почвы [Текст]: науч. изд. / В.И. Варова, Э.М. Гусейнов. – СПб.: Изд-во СПГУ, 2005. – 324 с.

При наличии диссипации ( $\beta_p, \beta_k$ ) в двух ступенях подвеса минимизация функционала  $D_p(\beta_p, \beta_k)$  дает их оптимальные значения:

$$\partial D_p / \partial \beta_i = 0; \quad \beta_p^0 = mc_p^2 / c_k = \varepsilon mc_p; \quad \beta_k \approx \beta_p \left( \sqrt{1 + (\mu/\varepsilon)^2 / \mu_0} - 1 \right). \quad (9)$$

Минимизируя функционал  $D_p(\beta_k)$  при расчетном значении  $\beta_p^0$  (7), (8), получаем

$$\partial D_p / \partial \beta_i = 0; \quad \beta_k \approx \beta_p \mu^2 (8\vartheta_p^2 \delta_k)^{-1} \approx \frac{\beta_p \mu^2}{2\delta_k^2} \approx 0,15\beta_p. \quad (10)$$

Для оптимальных параметров жесткости и диссипации вибронгруженность подвеса и пути (почвы) минимальны. В частности, для  $\beta_p = c_p \sqrt{\mu_0 m / c_k}$  (формула (8) при  $\beta_k \approx 0$  дисперсия реакции подвеса равна:

$$D_p = \frac{\zeta v}{4} (c_k \beta_k + \mu_0 + m_n c_p / \beta_p) = 0,5 \zeta v c_p \sqrt{\mu_0 m_n c_k}. \quad (11)$$

Для листовых рессор в рамной ступени подвеса с релейным трением  $F = F_0 \operatorname{sign} \dot{x}$  заменим в (11) линеаризованный параметр диссипации  $\beta_p = \sqrt{2/\pi} F_0 / \sigma_{\dot{x}}$  для  $\sigma_{\dot{x}} = \zeta v c_k / (4\beta_p)$  (6):

$$\beta_p = 2,5 F_0^2 (\zeta v c_k)^{-1}; \quad D_p^0 = 0,1 (6F_0^2 + \mu_0 m_n c_k c_p^2 \zeta^2 v^2 / F_0^2). \quad (12)$$

Минимизируя функцию  $D_p(F_0^2)$ , определяем расчетное трение:

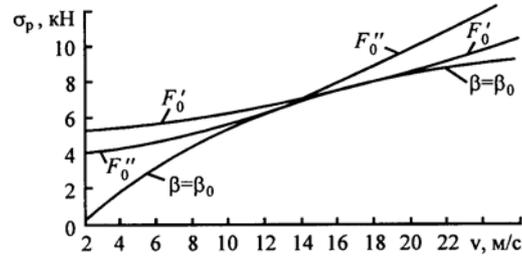
$$F_0^4 = 0,17 \mu_0 m_n c_k c_p^2 v^2. \quad (13)$$

Этот же результат получаем подстановкой  $\beta_p = \beta_p^0$  (8) в условие статистической эквивалентности (12).

Поскольку  $F_0 = F_0(\zeta v)$ , то расчетное трение (13) не может быть оптимальным для различных скоростей движения ( $v$ ) и состояний пути (почвы  $\zeta$ ). Поэтому его следует принимать для доминирующей скорости установившегося движения СВ ( $v = v_y$ ) и среднего состояния различных дорог. Отсюда также следует, что квазилинейная характеристика диссипации является наилучшей. Более того, гидrogасители обладают большой энергоемкостью. Однако они малонадежны, конструктивно сложны и требуют регулярного контроля и обслуживания. Поэтому возможно фрикционное демпфирование с улучшенной характеристикой.

Введем параметры подвеса СВ:  $c_k = 32$  кН/см;  $\beta_k = 0,5$  кН·с/м;  $m_n = 9,4 \cdot 10^3$  кг;  $m_k = \mu m_n = 1,8 \cdot 10^3$  кг. Тогда прогиб шин  $f_k = 3,5$  см, а рессор, при  $\delta_k^0 = f_k / f_p = 0,4$ ;  $f_p = 8,5$  см;  $f_{\Sigma} = f_p + f_k = 12$  см;  $c_p = m_n g / f_p = 11$  кН/см. Линеаризованные параметры диссипации в рессорах, рассчитанные по формуле (7),  $\beta_p^0 = 70$  кН·с/м; по формуле (8)  $\beta_p^0 = 65$  кН·с/м, а расчетное фрикци-

Рис. 2. Графики функций  $\sigma_p(v)$  при различном демпфировании:  $F_0', F_0''$  – силы фрикционного трения 7,2 и 5,1 кН, эквивалентные линейному сопротивлению при  $v = 14$  м/с;  $\beta = \beta_0$  – оптимальное значение параметра линейной диссипации, равное  $70$  кН · с/м



онное трение (13) для  $v_y = 15,0$  и  $7,5$  м/с при  $\zeta = 4 \cdot 10^{-5}$  м –  $F_0 = 7,2; 5,1$  кН. Для введенных и расчетных параметров (12) дисперсии (11) равны:

$$D_p^0 = 30 + 0,134v^2; D_p' = 15 + 0,27v^2; \sigma_p = 2\sqrt{v}. \quad (14)$$

На рис. 2 приведены кривые, построенные по формуле (14) при различном демпфировании. Кривая  $\beta = \beta_0$  является оптимальной для заданного прогиба  $f_k = 3,2$  см ввиду независимости орт  $\beta$  от внешнего воздействия. Фрикционное трение завышено при малых скоростях  $v < v_y$  и занижено при высоких  $v > v_y$ . При одинаковом эквивалентном трении ( $\beta \approx \beta_y$ ) реакции одинаковы для обеих характеристик диссипации. Максимум реакции по закону двух сигм нормального распределения вдвое выше среднего квадратичного значения с вероятностью  $P = 0,95$ .

#### Выводы

Квазисимметрия блоков и квазилинейность связей допускает декомпозицию большой размерности в одно- и двумерные модели. Естественными интегральными критериями вибронгруженности подвеса при случайной неровности пути служат дисперсии реакций шин и рессор. Их минимизация дает расчетные выражения и числовые значения оптимальных параметров жесткости и диссипации для всего спектра частот. Нелинейное трение в рессорах эффективно выявляется по условию статистической эквивалентности. Линейная характеристика диссипации наилучшая ввиду независимости ее оптимума от внешнего воздействия. Расчетное трение в листовых рессорах следует задавать по средней балльности дорог и доминирующей скорости установившегося движения.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 28.12.06

*E.M. Guseinov, R. E. Guseinov*  
Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy

### Efficiency of Operation of Log Truck with Double-step Suspension

Graphic-analytical modeling of a two-stage suspension, integral vibro-loading according to suspension steps and parametric optimization of elastic dissipative links, including nonlinear ones are stated.

Keywords: state equation, reaction dispersion, coupling parameters, minimization, optimal parameters.

УДК 630\*308

***К.П. Рукомойников***

Рукомойников Константин Павлович родился в 1977 г., окончил в 2000 г. Марийский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент МарГТУ. Имеет 36 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



### **СПОСОБ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСОСЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩИХ МАШИН ФРОНТАЛЬНОГО ТИПА\***

Исследованы технологические схемы движения ВПМ при разработке пасеки, позволяющие увеличить ширину пасеки, повысить эффективность лесосечных работ и сократить повреждения лесной среды.

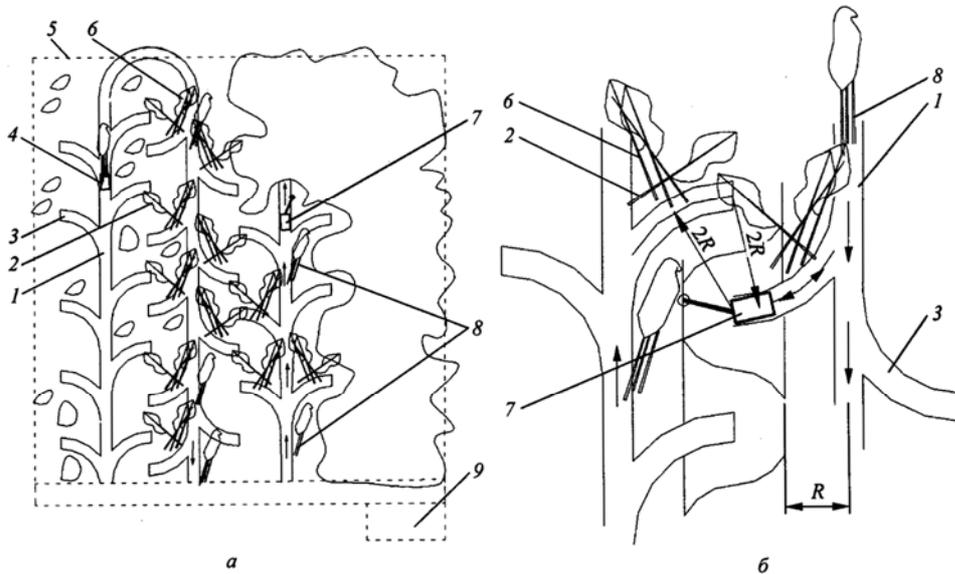
*Ключевые слова:* лесозаготовки, валочно-пакетирующая машина, пасечный волок, магистральный волок, валка, трелевка.

Исследования, проведенные рядом авторов [1–4 и др.], показывают негативное воздействие трелевочных машин на почву и возникновение неблагоприятных условий для развития самосева. Результаты этих исследований, а также наблюдаемое в настоящее время ухудшение характеристик насаждений и возросшие требования к сохранению окружающей лесной среды позволяют сделать вывод об актуальности транспортно-технологического освоения лесосек с максимальным сохранением почвенного покрова при перемещении различных лесосечных машин по волокам и технологическим коридорам.

Одним из способов сокращения негативного воздействия лесных машин на почву является сокращение числа пасечных и магистральных волоков на территории лесосеки, а следовательно, увеличение ширины разрабатываемых пасек. Для решения поставленной задачи при использовании на лесосечных работах валочно-пакетирующих машин (ВПМ) фронтального типа предлагается прокладка дополнительных криволинейных участков, предназначенных для однократного перемещения ВПМ и не используемых при трелевке древесины. В работе А.В. Побединского [4] доказано, что «в одном и том же типе леса влияние тракторной трелевки на изменение микрорельефа и физических свойств почвы зависит от числа рейсов трактора по волоку», следовательно, однократное перемещение ВПМ по участку лесосе-

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники» на 2002–2006 гг.



Технологическая схема разработки лесосек с использованием ВПМ фронтального типа: *а* – схема разработки делянки; *б* – схема разработки пасеки

ки не приводит к появлению необратимых последствий для окружающей лесной среды и почвенного покрова.

Предложенный способ представлен на рис. *а*.

Лесосеку 5 разбивают на делянки, затем на пасеки, посередине которых прокладывают пасечные волокна 1. От каждого из них по обе стороны прокладывают скругленные участки 3, радиус которых равен ширине ленты, обрабатываемой ВПМ 7. Ширина лент равна двойному вылету манипулятора ВПМ ( $R$ ) (рис. *б*). Центр каждого скругленного участка находится в конечной точке скругленного участка смежного пасечного волокна, изогнутого с тем же радиусом и центром в конечной точке рассматриваемого скругленного участка.

ВПМ движется по лесосеке челночным способом, последовательно перемещаясь с одного пасечного волокна на другой, валит деревья и укладывает их в пачки 8 вершиной в направлении, противоположном направлению трелевки. Спеленные деревья при движении ВПМ от лесовозного уса укладывают за машиной, к лесовозному усу – перед машиной, параллельно ранее уложенным пачкам. Для сохранности подроста на лесосеке валку деревьев на лентах, примыкающих к скругленным участкам пасечных волокон, осуществляют на подкладочное дерево 2, поваленное ВПМ при въезде на скругленный участок. Вершинную часть подкладочного дерева располагают в направлении, противоположном направлению трелевки лесоматериалов, под углом к пасечному волоку. Деревья 6, поваленные ВПМ на скругленном участке пасечного волокна, укладывают вершиной на волок, а комлевой частью на подкладочное дерево. Вслед за валкой всех деревьев, нахо-

дящихся в зоне досягаемости манипулятора ВПМ, машина возвращается на пасечный волок. Вслед за ней на безопасном расстоянии работает трелевочный трактор 4 с канатно-чокерным оборудованием, трелюющий деревья за комли на погрузочный пункт 9.

Использование данной технологии позволит сократить на 30 % число пасечных волоков, предназначенных для многократных перемещений трелевочных машин, за счет создания участков, предназначенных для однократного перемещения по ним ВПМ фронтального типа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков, Б.М.* Обоснование размещения трелевочных волоков с учетом их работоспособности на переувлажненных грунтах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Б.М. Большаков. – Л.: ЛТА, 1988. – 224 с.
2. *Герасимов, Ю.Ю.* Лесосечные машины для рубок ухода: компьютерная система принятия решений [Текст] / Ю.Ю. Герасимов, В.С. Сюнев. – Петрозаводск: Изд-во Петрозав. ун-та, 1998. – 235 с.
3. *Котиков, В.М.* Воздействие лесозаготовительных машин на лесные почвы [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / В.М. Котиков. – М., 1995. – 214 с.
4. *Побединский, А.В.* Влияние приемов лесозаготовки и, в частности, трелевки на лесовозобновление [Текст]: дис. ... канд. с.-х. наук / А.В. Побединский. – Л.: ЛТА, 1950. – 203 с.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 10.04.06

*K.P. Rukomoinikov*

Mari State Technical University

#### **Transport-Technology Development of Logging Sites by Using Felling-Bunching Machines of Frontal Type**

Technological motion schemes for felling-bunching machines are investigated for logging strip development allowing to extend the swath width, increase the efficiency of logging operations and reduce the damage to forest environment.

Keywords: forest harvesting, felling-bunching machine, swath skid road, main skid road, felling, skidding.

УДК 630\*377

***В.Д. Валяжонков***

Валяжонков Владимир Дмитриевич родился в 1940 г., окончил в 1966 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 40 научных трудов по теории и конструированию лесотранспортных машин.



### **КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ МАШИН**

Рассмотрена классификация основных параметров зарубежных колесных трелевочных машин. Приведены особенности конструкции энергетических установок и трансмиссий скиддеров.

*Ключевые слова:* колесные трелевочные машины, конструктивные параметры, характеристики основных агрегатов.

В зарубежной технологии лесозаготовок колесные трелевочные машины (КТМ) являются основными техническими средствами на трелевке древесины деревьями или хлыстами. Цель настоящей работы заключается в классификации зарубежных КТМ по конструктивным параметрам (масса, технологическое оборудование и давление на грунт) с приведением характеристик их основных агрегатов (энергетическая установка и трансмиссия) и разработке рекомендаций по рациональному применению КТМ для различных видов лесопользования в российских условиях\*. Материалы собраны автором при посещении международных выставок лесной техники ELMIA WOOD, проходивших в Швеции в 2001, 2003 и 2005 гг.

В настоящее время основные модели КТМ выполнены на колесном ходу по схеме 4×4, машины со схемой 6×6 не нашли широкого распространения. В таблице приведены краткие технические характеристики наиболее распространенных моделей машин с колесной формулой 4×4. Параметры КТМ сопоставимы со стандартами на подобную технику, принятыми в России.

Весовые параметры КТМ. Машины со схемой 4×4 выпускают в широком мощностном диапазоне, равном 75 ... 160 кВт. Их масса колеблется от 7 до 18 т (см. таблицу). По этому показателю 40 % моделей КТМ относится к среднему классу, 35 % – к легкому, 25 % – к тяжелому. Из семи представленных производителей машин этого типа только три фирмы – Ranger, John Deere и Clark – выпускают модели всех классов.

---

\* Валяжонков, В.Д. Зарубежные машины и оборудование для лесозаготовок и лесовосстановления [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.Д. Валяжонков [и др.]. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 238 с.

## Основные параметры КТМ (скиддеров)

Фирма	Модель	Мощность, кВт	Масса, т	Технологическое оборудование	Давление на грунт, кПа
John Deere	360D	96	10,77	Пачковый захват	61,6
		96	10,35	Лебедка	53,8
	460D	125	15,15	Пачковый захват	52,7
		125	13,65	Лебедка	63,2
	660C	140	16,57	Пачковый захват	66,5
		140	14,97	Лебедка	58,7
	540G-III	96	10,35	«	50,7
	548 G-III	96	10,77	Пачковый захват	50,3
	640 G-III	125	13,65	Лебедка	55,3
	648 G-III	125	13,48	Пачковый захват	53,7
Caterpillar	748 G-III	132	15,15	«	60,3
	515	113	12,50	«	44,5
	«	113	13,33	Лебедка	77,6
	525B	130	15,56	Пачковый захват	71,4
		130	15,73	Лебедка	69,4
	530B	145	17,83	Пачковый захват	90,0
	530B	145	15,55	Лебедка	78,5
Ranger	F65G	78	8,80	Пачковый захват	47,4
		78	7,38	Лебедка	55,0
	H67G	118	11,89	Пачковый захват	62,3
		118	10,34	Лебедка	63,7
	F68G	155	17,22	Пачковый захват	70,6
TreeFarmer	C7T	155	14,41	Лебедка	71,2
		110	8,47	«	70,5
	C6F	100	11,43	Пачковый захват	51,3
Martimex	C7F	114	12,81	«	59,6
	LKT90A	77	8,10	Лебедка	73,1
	LKT90B	77	8,98	Пачковый захват	69,0

Технологическое оборудование. По типу оснащаемого технологического оборудования КТМ разделяют на две группы. Это классический вариант с канатно-чokerным оборудованием (рис. 1) и бесчokerные машины с пачковым захватом (рис. 2). В последние годы начинает формироваться также третья группа машин, оснащенных гидроманипулятором.

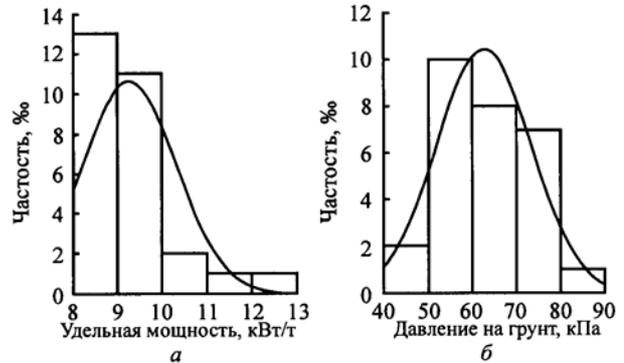


Рис. 1. Скиддер 640 G-III фирмы John Deere с канатно-чokerной оснасткой



Рис. 2. Скиддер 648 G-III фирмы John Deere с пачковым захватом

Рис. 3. Диапазоны и характер изменения удельной мощности (*а*) и давление на грунт (*б*) для КТМ различных модификаций



Чокерные КТМ имеют расширенную специализацию. Их применяют практически на всех видах рубок как с ручной, так и машинной валкой леса. Отрицательная сторона этих машин – большие затраты времени на формирование пачки деревьев по сравнению с остальными операциями технологического процесса.

Наиболее универсальны машины, оснащенные гидроманипулятором и самозажимающимся коником, дающие значительный эффект за счет сокращения затрат времени на формирование пачки древесины.

По данным таблицы выполнена математическая обработка диапазонов и характера изменения удельной мощности (рис. 3, *а*) и давления на грунт (рис. 3, *б*) различных модификаций КТМ. Как следует из приведенных графиков, математическое ожидание для различных моделей КТМ по удельной мощности соответствует 9,2 кВт/т, по давлению на грунт 63 кПа, что согласуется с принятыми в России стандартами.

Классическая модель КТМ оборудована мощной лебедкой, большим регулируемым по высоте опорным роликом и трелевочным щитом. У многих машин лебедки имеют привод с гидравлическим управлением одним рычагом и электронный контроль за режимами работы и техническим состоянием. Диапазон максимальных тяговых усилий трелевочных лебедок современных КТМ составляет 100 ... 215 кН, а скорость намотки каната при полном барабане и номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя колеблется от 42 до 113 м/мин. Форма трелевочных щитов большинства моделей обеспечивает устойчивое положение комлей деревьев и хлыстов в процессе трелевки.

Интенсификация лесосечных работ продиктовала необходимость создания моделей КТМ с пачковыми захватами. Площадь поперечного сечения захватов составляет 0,65 ... 1,50 м<sup>2</sup>, максимальное раскрытие клешней самого большого из них 3200 мм. Каждая клешня захвата имеет индивидуальный привод гидроцилиндром. В процессе трелевки гидросистема поддерживает постоянное давление на захвате. Гидромотор с высоким крутящим моментом позволяет вращать захват на 360 ° без ограничения угла поворота.

Энергетические установки КТМ. В качестве энергетической установки на всех зарубежных лесных колесных машинах используют 4- и 6-цилиндровые дизельные двигатели с турбонаддувом. Они представлены большим количеством моделей, охватывающих широкий диапазон мощности. Основными производителями двигателей являются фирмы John Deere, Caterpillar, Perkins.

Все применяемые на КТМ двигатели имеют частоту вращения коленчатого вала в диапазоне 1900 ... 2500 мин<sup>-1</sup> и максимальный крутящий момент 400 ... 1300 Н·м. Наибольшим крутящим моментом обладают 6-цилиндровые двигатели фирмы SISU, модель 84E TA и фирмы John Deere, модель 6081HTJ04, наименьшим – 4-цилиндровые двигатели фирмы Perkins.

Использование в большинстве двигателей системы промежуточного охлаждения надвучного воздуха (Intercooler), системы впрыска топлива с рампой высокого давления и электронным его управлением в значительной степени способствовало повышению эффективности протекания рабочего процесса двигателя. Благодаря этому увеличиваются их мощность и крутящий момент. Коэффициент запаса двигателей по крутящему моменту лежит в диапазоне 1,20 ... 1,52, максимальный у двигателей John Deere и Caterpillar. Повышенный крутящий момент обеспечивает подъем тяжелых пачек древесины, быстрое трогание, перемещение в сложных условиях местности, позволяет сократить либо число передач, либо число переключений при выполнении технологического процесса.

Разбрызгивание топлива под высоким давлением обеспечило высокую степень его сгорания, что положительно сказалось на резком сокращении вредных выбросов. В настоящее время большинство моделей двигателей зарубежных лесных машин соответствует экологическим требованиям.

Трансмиссии КТМ. На скиддерах с колесной формулой 4×4 применяют трансмиссии механического и механико-гидродинамического типов. Их выбор обусловлен природно-производственными условиями и лесоводственно-экологическими требованиями.

Для реализации высоких тяговых усилий и поддержания необходимых скоростных режимов в условиях хорошо несущих почвогрунтов, по которым колесные машины передвигаются с низкой степенью буксования, и при коротком и среднем расстоянии трелевок применяют КТМ с классической механической трансмиссией и возможностью переключения передач под нагрузкой. Этот тип трансмиссии обладает наименьшими потерями мощности, обеспечивая работу КТМ с лучшими технико-экономическими показателями, чем машины с механико-гидродинамическими трансмиссиями. Установка многоступенчатых коробок передач на трелевочных машинах позволяет при движении по часто изменяющейся пересеченной местности с пачкой леса большого объема выбрать необходимую передачу и обеспечить рациональные тягово-скоростные режимы движения машины. Так, на моделях КТМ фирмы John Deere устанавливают коробку передач со сближенными передаточными числами, состоящую из восьми передач вперед и семи назад.

В сложных условиях работы на почвогрунтах с малой несущей способностью и крутых склонах для снижения буксования, обеспечения плавного трогания с места и бесступенчатого изменения тягового усилия наиболее эффективны механико-гидродинамические трансмиссии. При их использовании временные и энергетические затраты, связанные с буксованием, минимальны хорошо поддерживаются рациональные нагрузочно-скоростные режимы на трелевке леса на большие расстояния, лучше сохраняется почвенный покров.

В данных трансмиссиях устанавливают гидротрансформаторы обычно с 4-скоростной коробкой передач типа Powershift, позволяющей переключать передачи на ходу. При этом мощность, развиваемая двигателем, хорошо согласуется с нагрузкой и состоянием почвогрунтов.

Скиддеры с колесной формулой 4×4 имеют одноосные мосты с конечными планетарными редукторами. На машинах со схемой 6×6 установлен один мост с планетарными редукторами, второй – с балансирными тандемными тележками. На 8-колесных машинах оба моста выставлены на тандемные тележки, имеющие зубчатую и конечную планетарную передачи. У большинства моделей машин планетарный редуктор расположен внутри колеса. Лишь у модели КТМ фирмы Caterpillar данная передача выполнена в едином корпусе с дифференциалом и главной передачей. У всех типов машин мосты имеют дифференциалы с гидравлической блокировкой, включаемой на ходу.

#### *Выводы*

В современных условиях рынок представляет большое разнообразие колесных трелевочных машин, что делает актуальной проблему их классификации по конструктивным и эксплуатационным параметрам.

Опираясь на предложенные в данной работе описания и сравнительный анализ моделей КТМ основных фирм-производителей и их классификацию по массе, технологическому оборудованию и давлению на грунт, потребитель получает возможность выбрать наиболее рациональные варианты КТМ с учетом типов трансмиссии и мощности энергетических установок в конкретных условиях эксплуатации.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 05.12.06

*V.D. Valyazhonkov*

Saint-Petersburg State Forest Technical Academy

### **Classification of Main Parameters for Wheeled Skidders**

Classification of main parameters for foreign wheeled skidders is considered. Peculiar features of power generating systems and transmission of skidders are provided.

Keywords: wheeled skidders, constructive parameters, characteristics of the main units.

---

---

УДК 630\*332.1:674.816.2

### **А.Ю. Никифоров**

Никифоров Александр Юрьевич родился в 1974 г., окончил в 1996 г. Красноярский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры гидроприводов и гидропневмоавтоматики Сибирского федерального университета. Имеет более 50 печатных работ по проблемам переработки низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок, оборудования для производства строительных материалов.



### **ВОПРОСЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК**

Рассмотрены структурные преобразования в лесопользовании, явившиеся основанием для разработки системы мобильных производств по утилизации лесосечных отходов. Показаны полевые технологии получения деревобетонных стеновых материалов для малоэтажного сельского строительства.

*Ключевые слова:* рассредоточенные лесосечные отходы, передвижные производства деревобетонов.

В лесодобывающих регионах в последние годы сложилась обстановка, при которой до 40 % срубленной древесины остается на лесосеках. С переходом к арендной системе лесозаготовок резко увеличилось число лесопользователей. Только в Красноярском крае насчитывают свыше 6,5 тыс. заготовителей-арендаторов. Велик процент неконтролируемых вырубок. Прежняя система централизованной переработки отходов на верхних и нижних складах леспромхозов (стационарные рубильные машины, цехи арболита, химической переработки и др.) вошла в противоречие со структурой рассредоточенной лесодобычи мелкими заготовителями, не имеющими коммерческого интереса и технических средств для утилизации лесосечных отходов. В результате захламливания лесосек происходят пожары, лес заражается насекомыми-вредителями, затруднено лесовосстановление.

Зарубежная и отчасти отечественная практика создания передвижных рубильных машин позволяет во многих случаях добиваться полной переработки лесосечных отходов на щепу. Однако при существующих масштабах лесозаготовок, когда количество отходов исчисляются миллионами кубометров, производство технологической щепы ограничено мощностями ЦБК и гидролизных заводов. Требуются и другие пути утилизации отходов. Одно из таких направлений – использование их при производстве арболитовых изделий для сельского строительства на мобильных агрегатах, работающих совместно с передвижными рубильными машинами.

Почти полувековой опыт изготовления арболитовых изделий (стеновые камни, блоки, панели) основан на цеховых технологиях, при которых стационарно установленные машины выполняют последовательно все операции. Для создания передвижных производств требуются новые технологии и машины, приспособленные к полевым условиям работы и передислокации. Должно быть исключено изготовление крупных блоков и панелей, применяющихся только при типовом строительстве. Оптимально производ-

ство стеновых камней, которые могут быть использованы при строительстве любых сельских объектов. Это ведет к существенному сокращению габаритов и веса формирующих агрегатов при обеспечении высокой производительности машин и поточности выпуска изделий. Тем не менее в ряде мест работа ручных формовочных станков не может гарантировать массовую утилизацию отходов, сохраняется полкустарный характер производства.

Немаловажное значение приобретает также поиск способов экономии цемента за счет местных вяжущих, таких как известь, высококальциевые буроголиевые золы ТЭС, шламы цветной металлургии и др. Известны многочисленные рецептуры, где наряду с древесным наполнителем применяют песок и гравий, способствующие уплотнению материала за счет некоторого увеличения его плотности. Формируется достаточно широкий класс деревобетонов (ДБ) типа арболитов, способных обеспечить надежную сырьевую базу сельского строительства.

В Красноярском государственном техническом университете разработана система передвижных производств ДБ-изделий\*. Технологическую

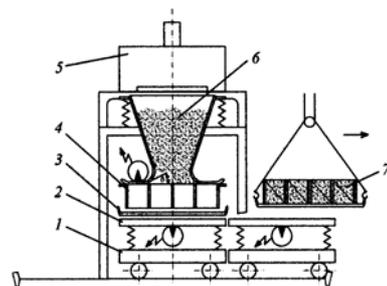


Рис. 1. Принципиальная схема челночной установки: 1 – тележки; 2 – вибростол; 3 – поддон; 4 – сотовая форма; 5 – смеситель; 6 – укладчик; 7 – изделия в форме на поддоне

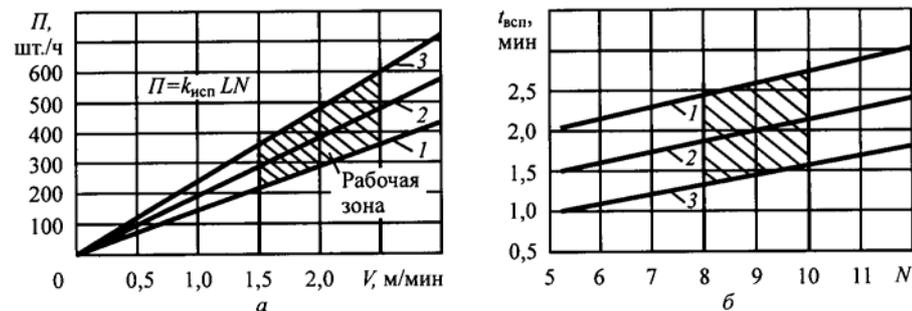


Рис. 2. Конструктивные параметры челночной линии: а – часовая производительность ( $P$ , шт. камней) в зависимости от скорости тележки  $V$  и коэффициента использования по времени  $k_{исп}$  ( $L$  – общий путь формы-тележки за час;  $N$  – число отсеков в 1 м формы): 1 –  $k_{исп} = 0,3$ ; 2 – 0,4; 3 – 0,5; б – вспомогательное время на распалубку и постановку новой формы ( $t_{всп}$ ) в зависимости от числа отсеков в форме ( $N$ ) и числа рабочих ( $k_p$ ) по результатам эксплуатации челночной линии: 1 –  $k_p = 1$ ; 2 – 2; 3 – 3

\* Никифоров, А.Ю. Отходоперерабатывающие машины лесозаготовок: основы проектирования полевых производств деревобетонов [Текст] / А.Ю. Никифоров. – Новосибирск: Наука, 2004. – 247 с.

основу составляет предложенный виброударнопрессовый (ВУП) принцип формирования камней в поточно перемещающихся сотовых формах с последующей немедленной распалубкой. Исследование реологических характеристик формируемой ДБ-смеси показало, что при создании компактных



Рис. 3. Схема базирования челночного смесительно-формовочного агрегата

полевых формовочных машин следует учитывать интенсивное многомерное воздействие вибрации, удара и финишной подпрессовки материала во время прохождения форм под ВУП-укладчиком. Для обеспечения поточности производства при ограниченных габаритах машины предложена челночная схема (рис. 1), основанная на ритмичном возвратно-поступательном перемещении форм на тележках, в результате чего отформованные изделия попеременно снимают с обеих сторон установки на поддонах с интервалом 2-3 мин. Параметры челночной линии приведены на рис. 2.

Смесительно-формовочные машины челночного действия рассчитаны на работу как в населенных пунктах с электроприводом, так и в полевых условиях с дизель-гидравлическим приводом тракторов и автомобилей (рис. 3).

Экономическая эффективность системы передвижных предприятий, установленная по результатам внедрения челночной технологии, определяется следующими факторами: 1) возможностью переработки древесных отходов силами лесхозов или частных предприятий; 2) низкой капиталоемкостью средств производства; 3) малыми транспортными затратами на доставку древесного сырья к месту производства и готовой продукции сельскому потребителю. Кроме того, следует учитывать высокую экологическую эффективность зачистки лесосек (профилактика пожаров и возможность лесовосстановления). Весьма значимы также социальные аспекты, выражающиеся в ускорении и удешевлении сельского строительства за счет использования эффективных древесно-цементных композиций из отходов на лесосеках близлежащих лесозаготовительных предприятий.

Сибирский федеральный  
университет

Поступила 04.06.07

*A. Yu. Nikiforov*

Siberian Federal University

### **Questions of Waste Wood Utilization**

Structural transformations in forest use are considered that were the basis for the development of the mobile production systems of wood waste utilization. Field technologies for producing cement wood wall materials for low-storey building in rural areas are shown.

Keywords: multisite logging waste, mobile productions of cement wood.

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 630\*3.331

**В.К. Пашков, С.В. Щепочкин**

Пашков Валентин Кузьмич родился в 1933 г., окончил в 1955 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры станков и инструментов Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 300 печатных работ в области теплофизики резания древесины.



Щепочкин Сергей Владимирович родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Уральский государственный лесотехнический университет, старший преподаватель кафедры станков и инструментов Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 20 печатных работ в области теплофизики резания древесины.



### ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ЗУБА КРУГЛОЙ ПИЛЫ

Выполнены аналитические расчеты распределения температуры по высоте зуба круглой пилы; показано, что характер ее распределения аналогичен установленному экспериментальным путем.

*Ключевые слова:* круглая пила, диск, зуб, температура.

Разработка аналитических методов расчета и распределения температур на контактных поверхностях лезвия зуба пилы и по его высоте – важная задача теплофизики резания круглыми пилами. Решение этой задачи позволяет разрабатывать рекомендации, связанные с износом и стойкостью режущих кромок и поверхностей лезвия, термическими напряжениями в инструменте, назначением режимов резания, при которых целесообразно использовать инструментальные материалы с той или иной степенью температурной устойчивости.

Аналитические исследования невозможно выполнить без некоторой схематизации теплопередачи при движении стружки по лезвию зуба и лезвия по поверхности резания [4].

В цилиндрической системе координат  $r$ ,  $\varphi$ ,  $z$ , связанной с источником тепла, дифференциальное уравнение теплопроводности в общем случае имеет следующий вид:

$$\left[ \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] + \left[ \left( \frac{\partial t}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial \varphi} \right)^2 + \left( \frac{\partial t}{\partial z} \right)^2 \right] \frac{\partial \lambda}{\partial t} =$$

$$= C_V \left[ \frac{\partial t}{\partial \tau} + V_r \frac{\partial t}{\partial r} + V_\varphi \frac{\partial t}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial t}{\partial z} \right], \quad (1)$$

где  $t(r, \varphi, z, \tau)$  – температура рассматриваемого тела в точке с координатами  $r, \varphi, z$  в момент времени  $\tau$ ;

$C_V$  – объемная теплоемкость;

$V_r, V_\varphi, V_z$  – радиальная, тангентальная и осевая составляющие вектора скорости тела относительно источника тепла;

$\lambda(t)$  – коэффициент теплопроводности материала тела.

Решение уравнения теплопроводности (1), как и всякого нелинейного дифференциального уравнения в частных производных, представляет значительные трудности. Поэтому важнейшим этапом теплофизического анализа является упрощение структуры уравнения (1) на основе схематизации рассматриваемого процесса.

Применительно к задаче о нагреве режущей части пилы, вращающейся вокруг оси  $z$ , когда  $V_r, V_z = 0$ , целесообразно и по имеющимся сведениям допустимо считать ее температурное поле плоским  $\frac{\partial t}{\partial z}; \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$

(вследствие малой толщины диска), осесимметричным  $\frac{\partial t}{\partial \varphi}; \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} = 0$  (в диа-

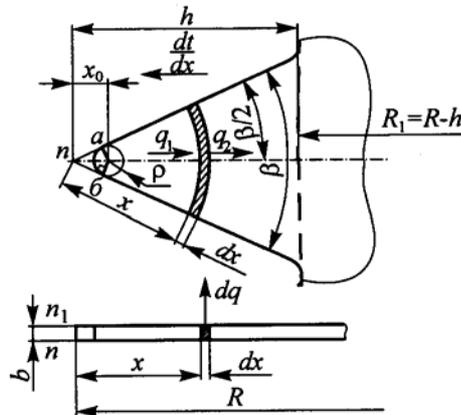
пазоне скоростей резания в деревообработке [1, 5]) и стационарным  $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$

(при межторцовых разрывах, не превышающих 10 % длины распиливаемых заготовок [6]). Кроме того, при принятом стационарном температурном поле влиянием температуры диска на теплофизические свойства его материала можно пренебречь [4].

Потеря теплоты лезвиями зубьев от лучеиспускания не превышает, по данным работы [2], 1,0 ... 1,5 % от общего количества теплоты, поступающей в инструмент и участвующей в теплообменных процессах с окружающей средой.

С учетом перечисленных ограничений и теплоотдачи по боковым поверхностям и поверхностям передней и задней граней лезвия зуба пилы рассмотрим тепловой баланс элементарного кольцевого слоя с внутренним радиусом  $x$  и центром в точке  $n$  режущей кромки  $mn_1$  абсолютно острого лезвия шириной  $dx$  (рис. 1). На профиль абсолютно острого лезвия наложен профиль физического лезвия, имеющий радиус закругления  $\rho$  и режущую кромку в форме дуги  $ab$  с центром  $O$ .

Рис. 1. Схема тепловых потоков элементарного участка зуба пилы



Обозначения, использованные на рис. 1:  $\frac{dt}{dx}$  – градиент температуры зуба по высоте;  $q_1$  и  $q_2$  – количество подводимой и отводимой теплоты от элементарного участка за счет теплопроводности по высоте зуба, Вт;  $dq$  – количество теплоты, отводимой за счет конвективного теплообмена от элементарного участка через переднюю, заднюю и боковые грани, Вт;  $\beta$  – угол заострения зуба, град;  $h$  и  $b$  – высота и толщина зуба, м;  $R$  и  $R_1$  – радиус пилы и окружности впадин зубьев, м;  $x_0$  – расстояние от начала координат (т.  $n$ ) до центра дуги  $ab$  (т.  $O$ ).

Поскольку в установившемся режиме резания теплосодержание элементарного участка остается постоянным, тепловой поток  $dq$ , рассеиваемый за счет конвекции боковыми поверхностями и поверхностями передней и задней граней этого участка, определяется разницей тепловых потоков  $q_1$  и  $q_2$ , проходящих через внешнюю и внутреннюю цилиндрические поверхности:

$$dq = q_1 - q_2. \quad (2)$$

Члены правой части выражения (2) представляют следующее:

$$q_1 = -2\pi x b \frac{\beta}{360} \lambda \frac{dt}{dx}; \quad (3)$$

$$q_2 = -2\pi(x + dx)b \frac{\beta}{360} \lambda \frac{d}{dx}(t + dt). \quad (4)$$

Подставив тепловые потоки (3) и (4) в выражение (2) и проведя преобразования, получим

$$dq = \frac{\lambda \pi \beta b}{180} \left( x \left( \frac{d}{dx}(t + dt) - \frac{dt}{dx} \right) + dx \frac{d}{dx}(t + dt) \right). \quad (5)$$

По теореме Лагранжа

$$\frac{d}{dx}(t + dt) - \frac{dt}{dx} = \frac{d^2 t}{dx^2} dx. \quad (6)$$

С учетом (6), выражение (5) примет следующий вид:

$$dq = \frac{\lambda\pi\beta b}{180} \left( x \frac{d^2t}{dx^2} + \frac{dt}{dx} \right) dx. \quad (7)$$

С другой стороны, количество теплоты, отводимой за счет конвективного теплообмена от элементарного участка, определим по закону Ньютона–Рихмана:

$$dq = 2\alpha \left( \frac{x\pi\beta}{180} + b \right) (t - t_b) dx, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$t$  – температура элементарного участка, °С;

$t_b$  – температура окружающего воздуха, принята  $t_b = 0$  °С.

Подставив количество теплоты, отводимой за счет конвективного теплообмена по формуле (8), в выражение (7) и проведя преобразования, получим

$$\frac{d^2t}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dt}{dx} - \frac{2\alpha}{\lambda b} t \left( 1 + \frac{180b}{x\pi\beta} \right) = 0. \quad (9)$$

Введем обозначения:

$$\frac{2\alpha}{\lambda b} = m^2; \quad mx = z; \quad \frac{180b}{\pi\beta} m = v.$$

Тогда

$$\frac{1}{x} = \frac{m}{z}; \quad \frac{dt}{dx} = m \frac{dt}{dz}; \quad \frac{d^2t}{dx^2} = m^2 \frac{d^2t}{dz^2}. \quad (10)$$

Дифференциальное уравнение (9) с учетом (10) примет вид

$$\frac{d^2t}{dz^2} + \frac{1}{z} \frac{dt}{dz} - \left( 1 + \frac{v}{z} \right) t = 0. \quad (11)$$

Запишем решение дифференциального уравнения (11) с применением программного пакета Mathematica v. 4.2:

$$t = C_1 e^{-z} U(0,5(1+v); 1; 2z) + C_2 e^{-z} L(0,5(-1-v); 2z), \quad (12)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные коэффициенты, определяемые из граничных условий;

$U(0,5(1+v); 1; 2z)$  – конфлюэнтная (вырожденная) гипергеометрическая функция первого рода, порядка  $(1+v)$ , аргумента  $2z$ ;

$L(0,5(-1-v); 2z)$  – функция Лагерра порядка  $0,5(-1-v)$ , аргумента  $2z$ .

Постоянные коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$  в выражении (12) определим из граничных условий первого рода.

Для случая реального резца считаем, что температура будет максимальной на расстоянии  $x_0 = \frac{\rho}{\sin \frac{\beta}{2}}$  от начала координат (рис. 1) и равна  $t_0$ .

Тогда при  $x = x_0$  и  $t = t_0$  выражение (12) примет вид

$$t_0 = C_1 e^{-mx_0} U(0,5(1+v); 1; 2mx_0) + C_2 e^{-mx_0} L(0,5(-1-v); 2mx_0), \quad (13)$$

а при  $x = \infty$  и  $t = 0$ :

$$0 = C_1 e^{-\infty} U(0,5(1+v); 1; \infty) + C_2 e^{-\infty} L(0,5(-1-v); \infty). \quad (14)$$

Так как при  $x = \infty$  функция Лагерра  $L(0,5(-1-v); \infty) = \infty$ , выражение (14) справедливо лишь при условии  $C_2 = 0$ . Тогда из (13)

$$C_1 = \frac{t_0}{e^{-mx_0} U(0,5(1+v); 1; 2mx_0)}.$$

При известных коэффициентах  $C_1$  и  $C_2$ , и  $x_0$  закон распределения температуры по высоте зуба можно записать в виде

$$t = t_0 \frac{e^{-mx} U(0,5(1+v); 1; 2mx)}{e^{-\frac{m\rho}{\sin \frac{\beta}{2}}} U\left(0,5(1+v); 1; \frac{2m\rho}{\sin \frac{\beta}{2}}\right)}. \quad (15)$$

График конфлюэнтной (вырожденной) гипергеометрической функции первого рода приведен на рис. 2, график распределения температуры (кривая 1) по высоте зуба – на рис. 3. Как видно из формулы (15), характер распределения температуры не зависит от ее абсолютного значения на лезвии зуба, поэтому на рис. 3 по оси ординат приведена относительная температура.

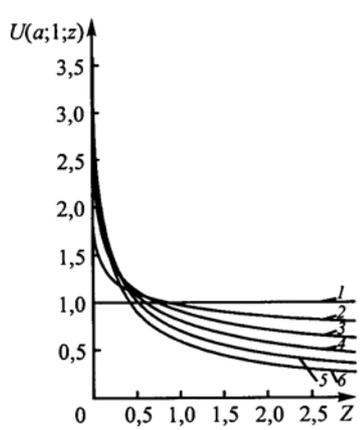


Рис. 2. Изменение конфлюэнтной (вырожденной) гипергеометрической функции первого рода аргумента  $z$ , порядка  $a$ : 1 –  $a = 0$ ; 2 – 0,2; 3 – 0,4; 4 – 0,6; 5 – 0,8; 6 – 1,0

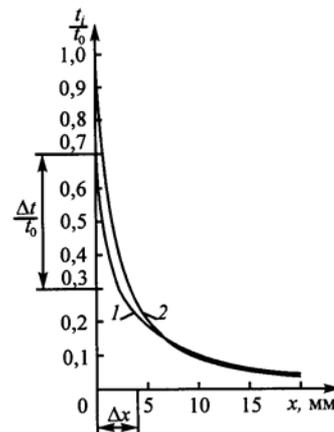


Рис. 3. Распределение относительной температуры по высоте зуба: 1 – кривая, построенная по формуле (15); 2 – графоаналитическим методом [3]

*Выводы*

1. Характер изменения относительной температуры по высоте зуба, полученный аналитическим расчетом (кривая 1) хорошо согласуется с результатами решения обратной задачи для тех же условий резания графоаналитическим методом (кривая 2). Это позволяет сделать заключение, что установлена реальная картина стационарного температурного поля зуба режущей части пилы.

2. Аналитический метод расчета температур зуба рекомендуется для случая, когда известна температура резания, графоаналитический метод – при известной температуре диска на окружности впадин зубьев.

3. Градиенты температур по высоте зуба (кривые 1, 2) наиболее отличаются в отрезках координат по оси абсцисс  $\Delta x = 0 \dots 4$  мм;  $\Delta t/t_0 = 0,3 \dots 0,7$ . Это можно объяснить допущениями, сделанными при описании теплофизической обстановки в зоне резания для разработки аналитического метода, не учитывающего закрытый процесс резания, наличие теплых опилок, теплообмен лучеиспусканием. Необходимо отметить, что градиент температур на холостой ветви пилы выше, чем на рабочей.

4. Ошибка определения температуры основания зуба аналитическим методом, принятая при расчете температуры резания, не превышает 6 %. Можно сделать заключение о достаточной точности реальной температуры на периферии диска и возможности ее использования для расчета режимов резания по динамической устойчивости пилы.

5. Предложенный метод расчета температур зуба позволяет научно обоснованно рекомендовать ограничения параметров режима резания круглыми пилами с учетом материала лезвия зуба и вида отпуска, принятого в технологии его изготовления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абельский, Ш.Ш.* О температурном поле вращающихся гибких дисков [Текст] / Ш.Ш. Абельский, В.К. Пашков // Инженерно-физический журнал. – Т. XX, № 2. – С. 338–343.
2. *Конов, В.Н.* Исследование влияния тепловых явлений на работоспособность круглых пил [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 13.00.01/ Конов Виктор Николаевич; ЛТА. – Л., 1979. – 26 с.
3. *Пашков, В.К.* Аналитический метод расчета температурного поля зуба круглой пилы [Текст] / В.К. Пашков, С.В. Щепочкин // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2003. – С. 128–130.
4. *Резников, А.Н.* Теплофизика резания [Текст] / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1969. – 288 с.
5. *Hauptmann, E.* Temperature Distribution in a Thin Rotating Disk [Text] / E. Hauptmann, H. Ramsey // Appl. Sii. Res., 1969. – 120 p.

---

6. *Kalitzin, G.* Erulärmung und Warmes pannungungen des Krejssage blattes [Text] / G. Kalitzin // Holzindustrie. – 1956. – N 11. – P. 269–292.

Уральский государственный  
лесотехнический университет

Поступила 21.08.06

*V.K. Pashkov, S.V. Shchepochkin*

Ural State Forest-Technical University

### **Temperature Field of Circular Saw Tooth**

Analytical calculations are carried out for temperature distribution according to height of circular saw tooth. The character of distribution is shown to be similar to the one set experimentally.

Keywords: circular saw, disc, tooth, temperature.

---

УДК 621.931

**Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин**

Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН. Имеет более 250 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры робототехнических систем, машин и оборудования лесного комплекса, проректор по информационным технологиям Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ПОЛОСОВОЙ ПИЛЫ. ОБЩИЙ СЛУЧАЙ**

Приведена общая формула для определения критической силы полосовой пилы, показаны особенности ее применения для станков различных типов.

*Ключевые слова:* устойчивость, критическая сила, полосовая пила.

В качестве режущего инструмента ленточнопильных станков и лесопильных рам используют пилы, представляющие собой в зоне резания стальные полосы, на одной из кромок которых насечены зубья. Производительность лесопильных станков и качество пиления в значительной степени зависят от точности пиления. Для повышения этого показателя необходимо, с одной стороны, уменьшать силы сопротивления резанию, действующие на пилы, с другой – повышать способность пилы противодействовать этим силам (жесткость и устойчивость) [1, 3].

Устойчивость полосовой пилы характеризуется величиной критической силы. В литературе приведено большое количество формул для расчета критической силы полосовых пил [1, 3, 5], которые справедливы для различных видов нагружения или учитывают конструктивные особенности узлов резания лесопильных станков.

Цель данной работы – получить общую формулу для определения критической силы полосовой пилы и показать особенности ее применения в различных случаях.

Рассмотрим ленточнопильный станок с отжимными контактными направляющими

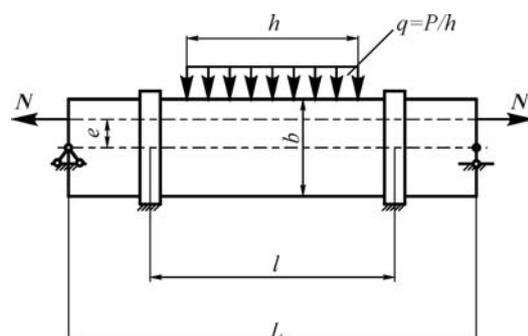


Рис. 1. Расчетная схема пилы

(рис. 1). Пила толщиной  $s$ , имеющая ширину  $b$ , растянута силой  $N$ , приложенной с эксцентриситетом  $e$ , имеет свободную длину в плоскости наибольшей жесткости  $L$ , равную расстоянию между осями пильных шкивов. В плоскости наименьшей жесткости свободная длина  $l$  равна расстоянию между отжимными направляющими под нагрузкой  $q$ , распределенной по высоте пропила  $h$ . Схема пилы (рис. 1) может быть заменена эквивалентной расчетной схемой рис. 2.

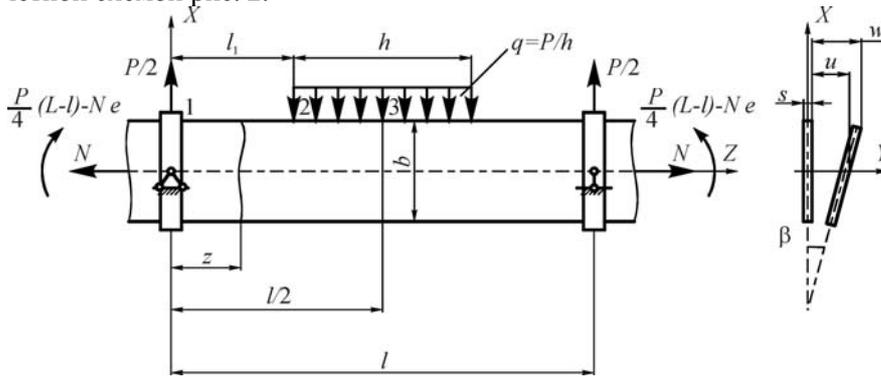


Рис. 2. Эквивалентная расчетная схема пилы

В работе [2] приведен вывод формулы критической силы для рассматриваемого случая:

$$P_{кр} = (qh)_{кр} = \frac{\pi^2 \left( N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) D}{2l A^2} \left( \sqrt{1 - \frac{2ANe}{D \left( N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right)} + \frac{A^2 \left( \frac{N b^2}{12} + C \right)}{D^2 \left( N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right)}} - 1 + \frac{ANe}{D \left( N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right)} \right), \quad (1)$$

где  $B = EJ_x$  – жесткость пилы при изгибе, Н·мм<sup>2</sup>;

$E$  – модуль упругости материала пилы,  $E = 2,15 \cdot 10^5$  МПа;

$J_x = bs^3/12$  – момент инерции сечения пилы при изгибе, мм<sup>4</sup>;

$$D = \frac{bl}{8h} - \frac{bl_1}{4h} + \frac{bl}{8\pi h} \sin \frac{2\pi l_1}{l}; \quad (2)$$

$l_1 = \frac{l-h}{2}$  – расстояние от направляющей до начала распределенной нагрузки  $h$ ;

$$A = \frac{\pi^2}{16} + \frac{1}{4} + \frac{\pi^2(L-l)}{8l} - \frac{\pi^2 l}{48h} + \frac{\pi^2 l_1^3}{6hl^2} + \frac{l}{8\pi h} \sin \frac{2\pi l_1}{l} - \frac{l}{8h} + \frac{\pi^2 l_1}{8h} + \frac{3l_1}{4h} - \frac{\pi^2 l_1^2}{4hl} - \frac{l_1}{2h} \cos \frac{2\pi l_1}{l} - \frac{l_1}{h} \sin^2 \frac{\pi l_1}{l}; \quad (3)$$

$C = GJ_k$  – жесткость пилы при кручении, Н·мм<sup>2</sup>;

$G$  – модуль сдвига материала пилы,  $G = 8,1 \cdot 10^4$  МПа;

$J_k = b s^3 / 3$  – момент инерции сечения пилы при кручении, мм<sup>4</sup>.

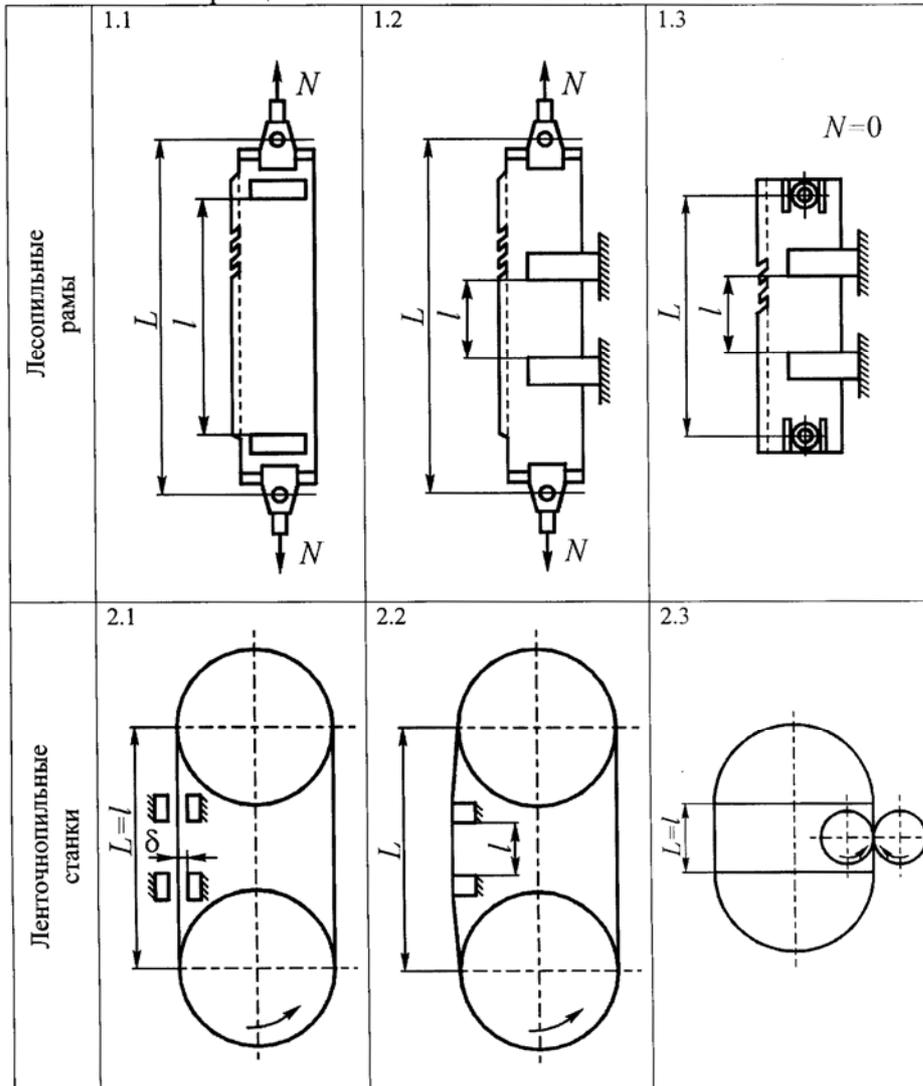
Формулу (1) можно использовать и для всех типов станков с полосовыми пилами. Принципиальные схемы узлов резания таких станков приведены в таблице.

Для лесопильных рам традиционной конструкции (схема 1.1) при расчете критической силы  $P_{кр}$  по формуле (1) свободная длина пилы  $l$  в плоскости наименьшей жесткости равна расстоянию между межпильными прокладками, а для лесопильных рам с направляющими для пил (схемы 1.2, 1.3) – расстоянию между ними. Свободная длина пилы  $L$  в плоскости наибольшей жесткости для всех типов лесопильных рам соответствует расстоянию между осями захватов.

Для ленточнопильных станков без отжимных контактных направляющих (схемы 2.1, 2.3) при расчете критической силы  $P_{кр}$  по формуле (1) свободные длины  $l$  и  $L$  принимают равными. Для схемы 2.1 они равны расстоянию между осями шкивов, а для схемы 2.3 – расстоянию между криволинейными направляющими.

Для ленточнопильных станков с отжимными контактными направляющими (схема 2.2) свободная длина  $l$  равна расстоянию между ними, а свободная длина  $L$  – расстоянию между осями шкивов.

Принципиальные схемы лесопильных станков



При расчете  $P_{кр}$  для случая сосредоточенной нагрузки принимают  $h = 1$  мм.

Приведем в качестве примера вариант использования формулы (1) для пилы быстроходной короткоходовой лесопильной рамы с нерастянутыми пилами (сила натяжения  $N = 0$ ), совершающими возвратно-поступательное движение в направляющих (схема 1.3) [1].

Формула (1) после произведенных преобразований будет иметь следующий вид:

$$P_{кр} = (qh)_{кр} = \frac{\pi^4 BD}{2l^3 A^2} \left( \sqrt{1 + \frac{A^2 C}{D^2 \frac{\pi^2}{l^2} B}} - 1 \right).$$

Анализ формулы (1) показывает, что при увеличении эксцентриситета до определенной (оптимальной) величины устойчивость пилы растет, а при дальнейшем увеличении – снижается. Оптимальный эксцентриситет определяют из условия  $\frac{dP_{кр}}{de} = 0$  [2]:

$$e_{опт} = \frac{A}{2D} \left( \frac{b^2}{12} + \frac{C}{N} \right). \quad (4)$$

Иногда удобнее пользоваться относительным эксцентриситетом линии натяжения  $\varepsilon = e/b$ . В этом случае

$$\varepsilon_{опт} = \frac{A}{2Db} \left( \frac{b^2}{12} + \frac{C}{N} \right). \quad (5)$$

Известно [1, 4], что эксцентриситет при определенной силе натяжения пилы может быть причиной потери ее устойчивости, его называют критическим. Расчетная схема представлена на рис. 3.

Полная работа внутренних сил в срединной плоскости [2]

$$W = -\frac{\pi^2 N}{4l} \left( \bar{u}^{-2} + \bar{\beta}^{-2} \frac{b^2}{12} + 2\bar{u}\bar{\beta}e \right). \quad (6)$$

Приравняв  $U = W$ , выразим  $e$ :

$$e = \frac{\pi^2 B \bar{u}}{2l^2 N \bar{\beta}} + \frac{C \bar{\beta}}{2N \bar{u}} + \frac{\bar{u}}{2\bar{\beta}} + \frac{b^2 \bar{\beta}}{24 \bar{u}}. \quad (7)$$

С учетом, что  $\frac{\bar{u}}{\bar{\beta}} = y$ , имеем

$$e = \frac{\pi^2 B}{2l^2 N} y + \frac{C}{2N} \frac{1}{y} + \frac{y}{2} + \frac{b^2}{24} \frac{1}{y}. \quad (8)$$

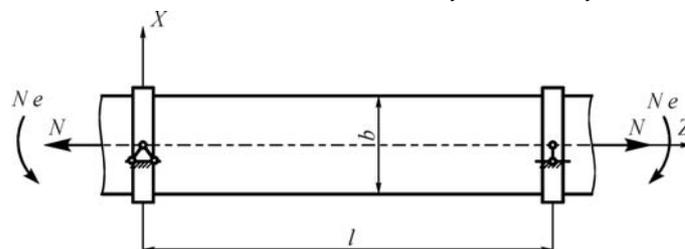


Рис. 3. Расчетная схема пилы при определении критического эксцентриситета

Величину  $y$ , соответствующую критическому эксцентриситету  $e_{кр}$ , определим из выражения (8) при условии  $\frac{de}{dy} = 0$ :

$$y = \sqrt{\frac{1}{12} \frac{(12C + b^2N)l}{\pi^2 B + Nl^2}}. \quad (9)$$

После подстановки выражения (9) в (8) и соответствующих преобразований получим

$$e_{кр} = \sqrt{\frac{\pi^2 B}{Nl^2} \left( \frac{C}{N} + \frac{b^2}{12} \right) + \frac{C}{N} + \frac{b^2}{12}}. \quad (10)$$

Членом  $\frac{\pi^2 B}{Nl^2} \left( \frac{C}{N} + \frac{b^2}{12} \right)$  можно пренебречь ввиду его малости по сравнению с другими слагаемыми, тогда выражение (10) примет вид:

$$e_{кр} = \sqrt{\frac{C}{N} + \frac{b^2}{12}}. \quad (11)$$

В относительной форме  $\varepsilon_{кр} = e_{кр} / b$ , т.е.

$$\varepsilon_{кр} = \sqrt{\frac{C}{Nb^2} + \frac{1}{12}}. \quad (12)$$

Формула (12) приведена в работах [1, 4]. Формулы (1), (4), (5), (11) и (12) можно использовать и для всех типов станков с полосовыми пилами.

При расчете критической силы полосовой пилы необходимо определить оптимальный и критической эксцентриситеты и принять наименьший из них, удовлетворяющий условиям  $e = e_{опт}$  и  $e \leq 0,75e_{кр}$ .

Выполненные расчеты для схемы 2.2 [2] показывают, что уменьшение свободной длины  $l$  ленточной пилы в плоскости наименьшей жесткости от 1800 до 500 мм позволяет повысить ее устойчивость на 39 ... 44 %. Если учесть, что еще в большей степени возрастает жесткость пил, то можно сделать вывод, что применение отжимных направляющих для ленточных пил – эффективный путь модернизации ленточнопильных станков.

Большим резервом повышения устойчивости полосовых пил является натяжение их с оптимальным эксцентриситетом. Натяжение с оптимальным эксцентриситетом пил без контактных направляющих позволяет повысить их устойчивость примерно на 30 %.

#### Выводы

1. Приведена общая формула для определения критической силы полосовой пилы и показаны особенности ее применения для станков различных типов.

2. Натяжение пил с оптимальным эксцентриситетом является резервом повышения их устойчивости.

3. Материалы статьи могут быть использованы для расчета режимов пиления древесины на лесопильных рамах и ленточнопильных станках и определения эффективности путей дальнейшего совершенствования их конструкций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьев, Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.
2. Прокофьев, Г.Ф. Исследование устойчивости пилы ленточнопильного станка с отжимными контактными направляющими [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин, А.А. Банников // Лесн. журн. – 2002. – № 5. – С. 59–67. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Прокофьев, Г.Ф. Модернизация ленточнопильных станков для повышения точности пиления [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Резервы использования материальных и трудовых ресурсов: науч. тр. ЦНИИМОД. – 1987. – С. 62–65.
4. Прокофьев, Г.Ф. Определение величины критического эксцентриситета линии натяжения рамных пил [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Науч. тр. ЦНИИМОД. – 1969. – Вып. 23. – С. 212–219.
5. Прокофьев, Г.Ф. Устойчивость рамных и ленточных пил в направляющих [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Совершенствование конструкций и методов подготовки и эксплуатации режущего инструмента и лесопильно-деревообрабатывающего оборудования: науч. тр. ЦНИИМОД. – 1977. – С. 43–48.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 04.05.06

*G.F. Pokofjev, I.I. Ivankin*

Arkhangelsk State Technical University

#### **Determination of Critical Force of Strip Saw. General Case**

General formula for determining critical force of a strip saw is provided and peculiarities of its application for machines of different types are shown.

Keywords: stability, critical force, strip saw.

---

5УДК 674.093

*Л.С. Суровцева*

Суровцева Любовь Савватъевна родилась в 1944 г., окончила в 1966 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 90 научных трудов в области комплексного, рационального использования древесины, совершенствования технологического процесса лесопильно-деревообрабатывающих производств.



## **ВЛИЯНИЕ СБЕЖИСТОСТИ НА ОБЪЕМ КРУГЛЫХ СОРТИМЕНТОВ**

Установлено, что в диапазоне одного номинального диаметра сбежистость имеет значительные отклонения, значения которых отличаются от нормативных; для установления фактического объема бревна необходимо учитывать фактическую сбежистость каждого сортимента.

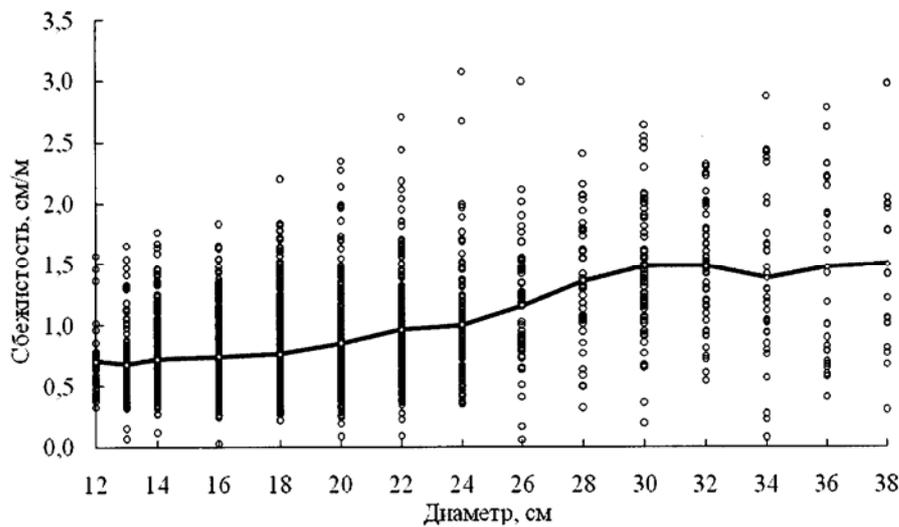
*Ключевые слова:* сбежистость, пиловочное бревно, сортимент, фактический объем.

В себестоимости производства пилопродукции лесопильно-деревообрабатывающих производств пиловочное сырье составляет более 50 %. Поэтому для лесозаготовительных и лесопильно-деревообрабатывающих предприятий актуальным является определение фактически отгруженного и поступившего пиловочного сырья.

Существует множество методов и способов обмера круглых сортиментов (поштучные, групповые; автоматические, ручную), которые установлены соответствующими стандартами. Однако из-за ряда причин (несовершенство применяемых измерительных устройств, используемые методы обмера и учета объемов круглых сортиментов, определение объема бревен в соответствии с ГОСТ 2708–75 и т.д.) фактический объем древесины, поступившей на предприятие, не всегда соответствует заявленному в документах. Также на фактический объем бревна влияют его форма и размеры.

Исследованием факторов, оказывающих влияние на объем бревна, занимались многие ученые [1–5]. Объем круглых сортиментов, как правило, определяют по стандартным вершинному торцу бревна и его длине в соответствии с ГОСТ 2708 [6]. В объем бревна заложена средняя сбежистость, поэтому расчетный объем бревна не всегда соответствует фактическому его значению [6].

В связи с этим на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях г. Архангельска нами были проведены исследования по определению фактической сбежистости бревен хвойных пород, поступающих для раскроя на пиломатериалы (см. рисунок). Объем выборки составляет 300 ... 400 шт. Относительная ошибка среднего арифметического 1,97 ... 4,60 % говорит о достоверности полученных результатов.



Распределение сбежистости в зависимости от диаметра бревен  
(— — средняя сбежистость)

Исследования показали, что для одного и того же номинального диаметра сбежистость бревен имеет большое отклонение от средней величины (табл. 1). Такое отклонение обусловлено, главным образом, местом положения бревна в хлысте и условиями роста дерева.

У бревен средних диаметров (13 ... 24 см) сбежистость изменяется от 0,021 до 3,078 см/м. Причем с увеличением диаметра максимальная сбежистость постепенно увеличивается от 1,656 до 3,078 см/м. Минимальная сбежистость находится в пределах 0,021 ... 0,351 см/м, закономерности ее изменения в зависимости от диаметра вершинного торца бревна не выявлена.

Таблица 1

Диаметр бревна, см	Сбежистость, см/м	
	max	min
13	1,656	0,064
14	1,762	0,115
16	1,828	0,021
18	2,195	0,215
20	2,351	0,081
22	2,710	0,094
24	3,078	0,351
26	2,988	0,062
28	2,409	0,314
30	2,641	0,189
32	2,311	0,543

Таблица 2

Диаметр бревен, см	Сбежистость, см/м		Отклонение фактической сбежистости от нормативной, см/м
	нормативная	средняя фактическая	
13	0,75	0,681	-0,069
14	0,80	0,719	-0,081
16	0,80	0,742	-0,058
18	0,80	0,761	-0,039
20	0,90	0,849	-0,051
22	0,90	0,964	+0,064
24	1,00	1,000	–
26	1,00	1,161	+0,161
28	1,10	1,361	+0,261
30	1,10	1,487	+0,387
32	1,15	1,481	+0,331

У бревен крупных диаметров (26 ... 32 см) сбежистость изменяется от 0,062 до 2,988 см/м. Минимальная сбежистость данной группы бревен колеблется от 0,062 до 0,543 см/м, причем закономерностей ее изменения не наблюдается. Максимальная сбежистость этой группы диаметров варьируется от 2,311 до 2,988 см/м, при этом отмечена тенденция ее снижения с увеличением диаметра вершинного торца бревна.

Установлено, что практически каждое бревно имеет сбежистость, которая отличается от нормативной. Средняя фактическая сбежистость для бревен определенной партии также имеет отклонения от нормативной (табл. 2).

Отклонение средней фактической сбежистости от средней нормативной (принимаемой для расчетов) колеблется от –0,039 до +0,387 см/м. Для бревен диаметром 13 ... 20 см средняя фактически сбежистость ниже нормативной, а для бревен диаметром более 22 см – выше нормативной. Ранее проведенные исследования также показали, что средняя фактическая сбежистость имеет отклонения от средних нормативных значений.

Сбежистость бревна оказывает влияние не только на объем бревна, но и на выход основной и вспомогательной пиломатериальной продукции, что в конечном счете сказывается на прибыли предприятия. Поэтому при измерении и учете пиловочного сырья для каждого отдельного бревна должна быть зафиксирована фактическая для него сбежистость. Только это позволит учесть фактический объем поступающего на предприятие пиловочного сырья и более точно планировать из него выход пиломатериальной продукции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, П.П. Технология пиломатериалов [Текст]: учеб. для вузов / П.П. Аксенов, Н.С. Макарова, И.К. Прохоров. – 2-е изд. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 480 с.
2. Анучин, Н.П. Лесная таксация [Текст]: учеб. для вузов / Н.П. Анучин. – 6-е изд. – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 552 с.

3. *Ветшева, В.Ф.* Раскрой крупномерных бревен на пиломатериалы [Текст] / В.Ф. Ветшева. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 168 с.

4. *Песоцкий, А.Н.* Лесопильное производство [Текст] / А.Н. Песоцкий. – 4-е изд. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 432 с.

5. *Щербаков, В.А.* Современные методы учета лесоматериалов [Текст] / В.А. Щербаков, С.В. Виноградов, С.Е. Михлин. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 224 с.

6. ГОСТ 2708–75. Лесоматериалы круглые [Текст]. – Взамен ГОСТ 2708–44; введ. 01.01.1977. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 34 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 29.03.07

*L.S. Surovtseva*

Arkhangelsk State Technical University

### **Tapering Impact on Round Assortment Volume**

It is established that tapering has relevant deviations within one nominal diameter; their values being considerably different from the approved standard ones; it is necessary to take into account the actual tapering for determining the actual log volume.

Keywords: tapering, sawlog, assortment, actual volume.

---

УДК 676. 16

***Е.Н. Покровская***

Покровская Елена Николаевна родилась в 1938 г., окончила в 1960 г. Московский химико-технологический институт им. Д.И. Менделеева, доктор технических наук, профессор кафедры общей химии Московского государственного строительного университета, чл.-корреспондент РАЕН. Имеет более 200 научных трудов в области поверхностной химической модификации древесины.



### **ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОФОБНЫХ БИОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ**

Предложена схема создания биостойких древесных материалов при поверхностном модифицировании фосфор-, кремнийорганическими соединениями и механизм химического модифицирования древесины в этом процессе.

*Ключевые слова:* модификация, фосфор-, кремнийорганические соединения, гидрофобность, биостойкость, интермедиат координационного типа.

Влажность древесины оказывает существенное влияние на ее физические и механические свойства. При повышении влажности на 30 % механическая прочность древесины снижается на 70 %. Кроме того, увеличение влажности древесины приводит к ее загниванию. Вследствие экологических загрязнений атмосферная влага часто содержит кислотные агенты, при контакте с которыми деревянные наружные конструкции подвержены значительным гидрологическим разрушениям.

Традиционно гидрофобизацию древесины осуществляют с помощью полимеров и кремнийорганических соединений (КОС), при этом гигроскопичность снижается за счет блокировки гидроксильных групп, наполнения капиллярно-пористой структуры древесины, а также изменения плотности сшивки лигноуглеводной матрицы [2]. Однако значительное содержание полимера в древесине нарушает плотность полимерной сетки, что приводит к ухудшению свойств материала, а иногда к его спонтанному разрушению.

Для создания устойчивого эффекта гидрофобизации необходимо провести силилирование древесины. В связи с тем, что КОС являются гидрофобными агентами, пропитка древесины КОС представляет определенные трудности. Ее проводят в автоклаве методом горяче-холодных ванн с перепадом температур 65 ... 20 °С при длительности пропитки не менее 7 ч. Этот метод предполагает большой расход материалов и энергии.

Цель нашей работы – проведение «мягкого» силилирования до незначительной степени химического модифицирования. Содержание химически связанного Si должно составлять около 1 %.

В качестве силилирующих агентов использовали алкоксисиланы и алкилгидридсилоксаны – полиэтилгидридсилоксан (ПЭГС) и полиметилгидридсилоксан (ПМС) с различной степенью полимеризации.

Для облегчения проницаемости КОС в древесину применяли различные гидрофильные добавки, которые одновременно снижали энергию активации реакции силилирования так, чтобы силилирование проходило в «мягком» режиме. Активирующими гидрофильными добавками служили фториды аммония, калия, соли титановой кислоты (табл. 1).

Степень полимеризации КОС незначительно влияет на гидрофобность древесины. Природа алкильного радикала при атоме кремния ( $\text{CH}_3$  в ПМС;  $\text{C}_2\text{H}_5$  в ПЭГС) также не сказывается на изменении водопоглощения силилированной древесины.

Как видно из табл. 1, в присутствии добавок-катализаторов ПБТ протекает мягкое силилирование древесины полиалкилгидридсилоксанами (ПМС и ПЭГС), степень силилирования невысока. Исследования с помощью электронного микроскопа показали, что характер распределения КОС в древесине определяется природой добавок. При обработке древесины с помощью КОС (10 %-й раствор метилтрипропоксисилана (МТПС) в толуоле) обнаруживается незначительное отложение продукта в маргинальной зоне окаймленных пор. Модифицирование с использованием ПБТ приводит к незначительному количеству полимера в межклеточном пространстве с образованием полиорганосилоксановой пленки в виде складок, выстилающей

Таблица 1

Кремнийорганическое соединение	Доля химически связанного Si, %	Данные ИК-спектроскопии	Изменение водопоглощения через 30 сут
ПМС-20	0,63	Присутствуют полосы поглощения 2150 $\text{cm}^{-1}$	1,84
	0,61		1,50
	0,44		1,36
ПМС-20*	0	–	–
ПМС-200	0,31	1050 $\text{cm}^{-1}$ 1100 $\text{cm}^{-1}$	0,98
	–		1,62
	–		1,66
ПМС-1000	0,68	–	2,12
	0,56	–	1,80
	–	–	1,53
ПЭГС	0,16	–	1,62
	0,16	–	1,80
	0,20	–	1,58
ПЭГС*	0	–	–

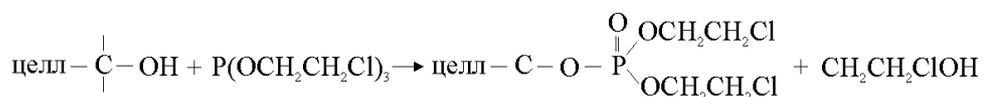
\* В этих случаях нет активирующей добавки-катализатора, в остальных добавлен полибутилтитанат (ПБТ).

клеточные полости. В присутствии фторидов ( $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{KF}$ ,  $\text{CsF}$ ) полимерное отложение имеет совершенно иной вид, причем капиллярно-пористая структура заполнена более полно.

Интересные результаты получены при использовании процессов последовательного фосфорилирования и силилирования в мягких условиях. Фосфорсодержащие органические соединения, обладая высокой проникающей способностью, целиком заполняют межклеточное пространство древесины. При последовательной пропитке ФОС и КОС последние входят в межклеточную структуру древесины, причем наблюдаются плотные губчатые отложения КОС, которые в некоторых местах полностью заполняют внутренние полости сосудов.

В качестве ФОС использовали 40 %-й раствор трихлорэтилфосфата (ТХЭФ), в качестве КОС – МТПС.

Взаимодействие ТХЭФ с целлюлозой (древесина) – фосфорилирование – можно представить следующей схемой:



Выделение β-хлорэтилового спирта в ходе реакции было доказано ранее.

При обработке целлюлозы (древесина) последовательно ТХЭФ, а затем МТПС ( $\text{CH}_3\text{-Si}(\text{OCH}_2\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ) при температурах 50, 60 и 80 °С выделение пропилового спирта ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ) в реакционной смеси было определено количественно методом газожидкостной хроматографии (табл. 2).

Таблица 2

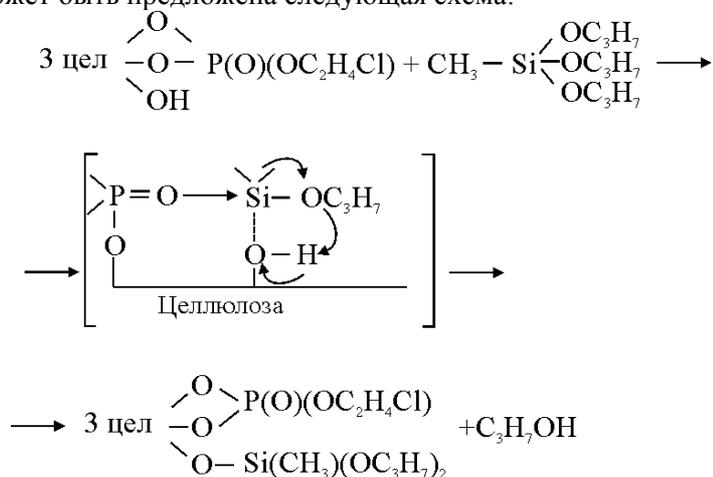
Время, ч	Выделение $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ (а)	Расход $\text{CH}_3\text{-Si}(\text{OCH}_2\text{C}_2\text{H}_5)_3$ (б)	Соотношение а/б
	%		
Температура 50 °С			
1	0,02	0,01	2,0
2	0,04	0,02	2,0
3	0,06	0,03	3,0
4	0,08	0,03	2,6
5	0,10	0,04	2,5
6	0,13	0,05	2,6
7	0,14	0,05	2,8
Температура 60 °С			
1	0,02	0,01	2,0
2	0,06	0,02	3,0
3	0,08	0,02	4,0
4	0,11	0,03	3,6
5	0,14	0,04	3,5
6	0,13	0,04	3,2
7	0,16	0,05	3,2
Температура 80 °С			

1	0,05	0,02	2,5
2	0,09	0,03	3,0
3	0,14	0,05	2,8
4	0,19	0,08	2,4
5	0,23	0,09	2,5
6	0,28	0,09	3,1
7	0,33	0,10	3,3

Материальный баланс реакции силилирования целлюлозы, модифицированной ТХЭФ, МТПС, показал (табл. 2), что при расходовании одной молекулы МТПС выделяется около трех молекул пропилового спирта. Это указывает на то, что все три пропоксигруппы МТПС участвуют в реакции с ОН-группами целлюлозы.

Совокупность результатов, полученных при исследовании реакции силилирования целлюлозы, предварительно обработанной ТХЭФ, позволяет предположить, что при последовательном модифицировании целлюлозы ФОС и КОС имеет место координация КОС с образованием интермедиата, включающего координацию типа  $\equiv \text{P} : \rightarrow \text{Si} \equiv$ , вследствие чего облегчается взаимодействие функциональных групп КОС с ОН-группами целлюлозы.

Для процесса силилирования целлюлозы, фосфорилированной ТХЭФ, может быть предложена следующая схема:



Разрушение древесины во времени начинается с поверхности, поскольку диффузные ограничения в процессе сорбции отсутствуют [1]. Поверхностное модифицирование древесины может увеличить ее долговечность за счет повышения биостойкости и гидрофобности с сохранением длительного времени защиты.

Длительное время защиты обусловлено образованием ковалентных связей целлюлозы с модификатором по вышеприведенной схеме. Образцы древесины после поверхностного мягкого модифицирования ФОС и КОС исследовали на гидрофобность и биостойкость. Для гидрофобности опре-

деляли краевой угол смачивания; для биостойкости анализировали рост культур *Aspergillus*, *Penicilium*, *Trihoderma* и др. (табл. 3).

Таблица 3

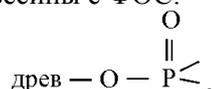
Модификатор		Краевой угол смачивания	Водопоглощение за 30 сут	Биоразрушитель
ФОС	КОС			
Контроль		38,8	200	+
ТХЭФ	–	32,8	180	–
	ЭГС	125,5	120	–
	ТЭС	129,7	103	–
	МТЭС	129,7	111	–
	МТБС	131,1	104	–
	МСН	126,1	80	–
ТКФ	–	39,9	190	+
	ЭГС	120,7	118	+
	ТЭС	117,4	125	+
	МТЭС	119,4	106	+
	МТБС	118,1	108	+
	МСН	116,1	90	+

Примечание. ЭГС – этилгидридсилоксан; ТЭС – тетраэтилсилоксан; МТЭС – метилтриэтилсилоксан; МТБС – метилтрибутилсилоксан; МСН – метилсилоксанат натрия.

Климатические испытания проводили при температурном режиме  $-30 \dots +40 \text{ }^\circ\text{C}$  и орошении образцов водой. Контрольные образцы, модифицированные только КОС или ТКФ и ТКФ+КОС, покрылись обширными колониями грибов *Penicillium* и *Aspergillus*. У образцов, обработанных ТХЭФ, а затем различными КОС отмечено уменьшение водопоглощения в 2,0 – 2,5 раза и устойчивое сопротивление биокоррозии. Модифицирование древесины только КОС не создает сопротивления биокоррозии дресины.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что при поверхностном модифицировании древесины КОС уменьшение водопоглощения недолговечно.

Значительный биоводостойкий эффект может быть достигнут только в тех случаях, когда КОС наносят на поверхность предварительно фосфорилированной древесины. При этом фосфорилирование приводит к образованию ковалентных связей древесины с ФОС:



Даже при незначительной степени фосфорилирования (доля фосфора в поверхностном слое 0,9 ... 1,0 %) последующее силилирование создает устойчивый биоводостойкий эффект.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Покровская, Е.Н.* Определение лимитирующей стадии сорбции на примере древесины различной длительности эксплуатации [Текст] / Е.Н. Покровская, И.В. Котенева, А.А. Аскадский // Лесн. журн. – № 1. – 2004. – С. 61–66.

2. Труды IV Междунар. симп. «Строение свойства и качество древесины – 2004 г.» [Текст] / М.Н. Белгасем. – С.-Петербург, 2004. – Т. 2. – С. 402–406.

Московский государственный  
строительный университет

Поступила 21.08.06

*E.N. Pokrovskaya*

Moscow State University of Civil Engineering

### **Producing Hydrophobic Biostable Materials under Surface Wood Modification**

The scheme of producing biostable timber-based material under the surface modification by phosphorus and organic silicon compounds is offered; mechanism of wood chemical modification in this process is described.

Keywords: modification, organophosphorous compounds, organic silicon compounds, hydrophobic behavior, biostability, intermediate of coordination type.



УДК 674.81:666.189.211:621

*А.Н. Екименко*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АРМИРОВАННЫХ ДРЕВОПЛАСТИКОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Изучены физико-механические свойства новых композиционных материалов на основе измельченных отходов древесины (наполнитель) и отходов стекловолокна в виде путанки (армирующий элемент). Установлено, что свойства армированных композиционных древопластиков зависят от распределения связующего в основном и армирующем наполнителях.

*Ключевые слова:* армированные композиционные древопласты, адгезионная способность связующего, монолитный материал, сложнонагруженные условия.

В Институте инновационных исследований (г. Гомель, Республика Беларусь) выполнены работы по созданию и исследованию новых материалов на основе древесины и стекловолокна. Объектом изучения были механические свойства армированных композиционных древопластиков (ДПКА) и их зависимость от распределения связующего в основном и армирующем наполнителях.

Образцы изготовлены и испытаны согласно ГОСТ 4647–62, 4670–62, 4648–63, 11262–65. В качестве основного наполнителя использовали опилки, прошедшие через сито с отверстиями диаметром 5 мм и оставшиеся на сите с отверстиями диаметром 1 мм. Армирующий материал – отходы (в виде путанки) стекловолокна марки НСО-6/300. Исходные компоненты обрабатывали термореактивной фенолформальдегидной смолой СБС-1 и Р-2, модифицированной поливинилбутиралем. Для изготовления образцов использовали метод прямого прессования в прессформах при следующем режиме: удельное давление прессования 400 кгс/см; время выдержки 0,8 мин на 1 мм толщины образца; температура прессования 155 ... 160 °С. Содержание связующего (при остальных постоянных параметрах) – 10 ... 30 %; содержание в прессматериале стекловолокна длиной 25 ... 30 мм – 20 %.

Учитывая, что стекловолокно образует основу каркаса пластика, воспринимающего на себя всю или большую часть нагрузки, важным, с точки зрения получения монолитного материала, является вопрос о взаимодействии трех разнородных составляющих: полимерной смолы, древесины и стекловолокна.

Основной фактор, определяющий совместную работу разнородных материалов в данном монолите ДПКА, – адгезионная способность связующего к склеиваемым материалам. Опыт производства неармированных композиционных древопластиков и проведенные исследования показывают, что смола СБС-1 обладает высокой адгезией к древесине и прочно

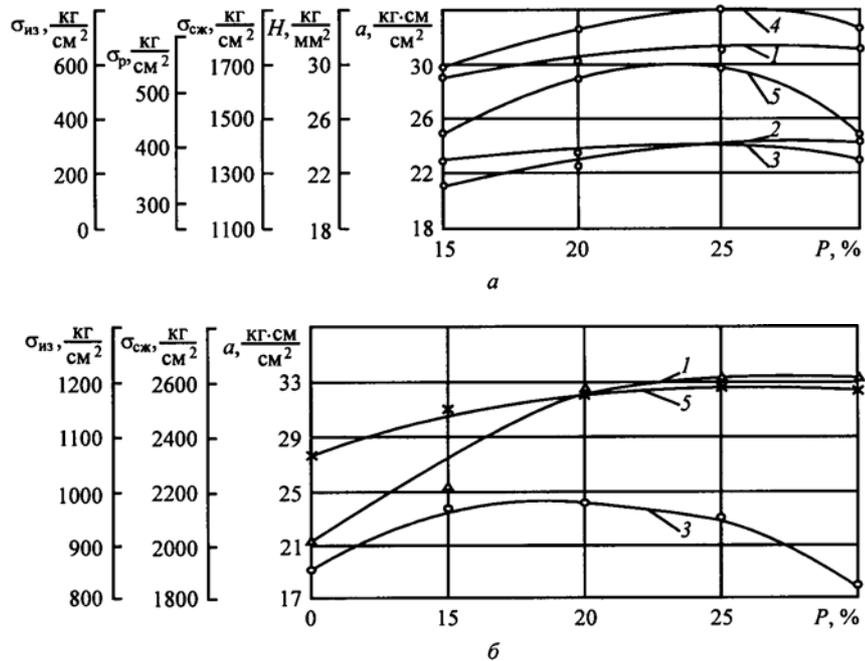


Рис. 1. Зависимость механических свойств ДПКА от распределения  $P$  связующего по второму (а) и первому (б) вариантам: 1 – предел прочности при статическом изгибе; 2 – предел прочности при растяжении; 3 – предел прочности при сжатии; 4 – твердость; 5 – ударная вязкость

соединяет отдельные ее частицы в монолитный материал. При изготовлении ДПКА связующее должно обладать хорошей адгезией не только к древесине, но и к стекловолкну. Нами было изучено два вида фенолформальдегидной смолы: СБС-1 и Р-2, модифицированная поливинилбутиралем (ПВБ). В *первом* варианте наполнители (стекловолкно и древесина) обрабатывали смолой СБС-1, во *втором* – древесный наполнитель пропитывали смолой СБС-1, а стекловолкно – модифицированной ПВБ смолой Р-2.

Результаты испытаний материала представлены на рис. 1.

Из приведенных на рис. 1 графиков видно, что с увеличением общего количества связующего в материале от 16 до 19 % механические свойства ДПКА значительно возрастают, дальнейшее повышение содержания связующего до 23 % существенно не влияет на предел прочности материала при сжатии, ударном и статическом изгибах. При содержании связующего в материале выше 23 % механические свойства ДПКА снижаются. Наилучшими механическими свойствами обладают ДПКА при следующем распределении связующего между основным и армирующим наполнителями: 19 ... 20 и 30 %.

Как видно из рисунка, механические свойства материала, полученного по второму варианту, выше, чем по первому. Это позволяет рекомендовать второй вариант для изготовления деталей, работающих в сложна-

груженых условиях. На основании полученных данных был разработан конструкционный материал, содержащий 57 % измельченной древесины, 18 % стекловолокна, 25 % фенолформальдегидной смолы (по сухому остатку).

На рис. 2 показаны изготовленные из ДПКА детали машин (1 – 18), которые прошли испытания в производственных условиях.

Например, ковш 1 эксплуатировался на 12-м Государственном подшипниковом заводе в элеваторе шарошлифовального станка МШ-33 в агрессивной среде дизтоплива с включениями абразивных частиц от шлифовальных кругов под воздействием изгибающих усилий и динамических ударов, вызываемых падением массы стальных шариков с высоты 1,2 м. Ковши из ДПКА показали высокую работоспособность и внедрены в производство. Это значительно улучшило условия труда за счет снижения шума, возникавшего прежде от удара шариков о стальные ковши; снизило себестоимость ковшей в 2 раза при увеличении срока их службы; уменьшило расход энергии.

При эксплуатации в паровой камере на Гомельском заводе сборного железобетона при 95 °С в абразивной среде цементного раствора под воздействием динамических нагрузок втулка опорного ролика 13 и корпус подшипника ролика 17 показали высокую работоспособность и были рекомендованы к внедрению.

После испытаний в агрессивных средах при повышенных температурах и под воздействием ударных нагрузок на Светлогорском комбинате искусственного волокна втулка подшипника 11, фланец катушки для намотки корда 16, штуцер с гайкой трубопровода высокого давления для перекачки химически активных жидкостей 18, корпус плафона 14 и шестерня механизма газораспределителя 15 также были рекомендованы к внедрению в производство.

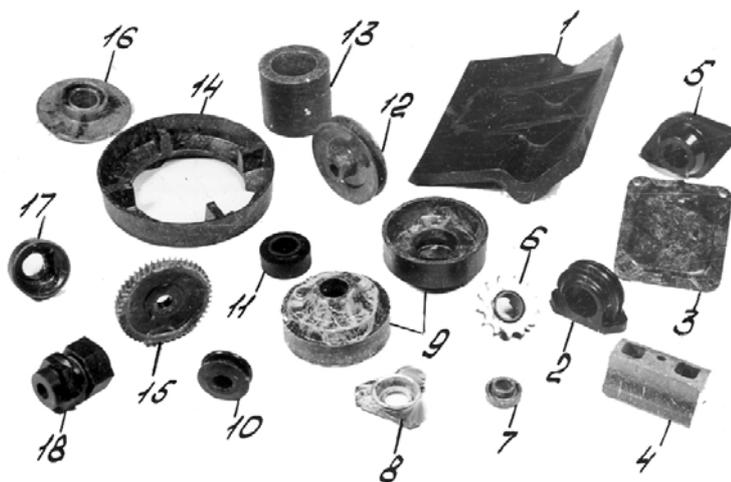


Рис. 2. Детали машин из ДПКА

При испытаниях в полевых условиях под воздействием динамических нагрузок, знакопеременных температур, солнечной радиации, атмосферных осадков и абразивной среды детали кормоуборочного комбайна КС-100 (2, 4, 5 – корпуса подшипников, 3 – крышка редуктора, 6 – звездочка, 10 – ролик, 12 – шкив вентилятора), как и детали роликоопор ленточных конвейеров (7 – лабиринтовая втулка, 8 – крышка подшипника, 9 – корпус подшипника) в процессе испытаний на первом и втором рудоуправлениях Солигорского ПО «Беларуськалий» при транспортировке поваренной соли как в агрессивной, так и в абразивной средах показали высокую работоспособность.

Замена перечисленных металлических деталей деталями из ДПКА дала высокий экономический эффект и позволила снизить расход металла.

Белорусский институт  
инновационных исследований

Поступила 14.11.05

*A.N. Ekimenko*

Belorussia Institute of Innovation Research

### **Investigation of Reinforced Wooden Plastics and their Application in Mechanical Engineering**

Physical-mechanical properties of new composite materials based on milled wood waste (filler) and glass fiber waste (reinforcing element) are investigated. It is established that properties of reinforced composite wooden plastics depend on distribution of adhesive in the basic and reinforcing fillers.

Keywords: reinforced composite wooden plastics, adhesion ability of binding, solid material, complex load condition.

---

УДК 674.093.002.1

***Р.Е. Калитеевский, А.А. Тамби, А.В. Гаврюков,  
А.М. Артеменков, В.М. Торопов***

Калитеевский Ростислав Евгеньевич родился в 1924 г., окончил Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии деревообрабатывающих производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, академик РАЕН, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 150 печатных работ в области технологий, оборудования и систем управления в лесопилении.



Тамби Александр Алексеевич родился в 1984 г., окончил в 2006 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, занимается научно-исследовательской работой в области производительности лесопильных цехов и предприятий, а также анализа инструкций и методик расчета производственной мощности лесопильных предприятий.



Артеменков Алексей Михайлович родился в 1977 г., окончил в 2000 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, старший преподаватель кафедры технологии деревообрабатывающих производств СПбГЛТА. Имеет 5 печатных работ в области изучения процессов тепловой обработки и сушки древесины, планирования и организации технологических процессов в лесопилении, производства и сертификации столярно-строительных изделий.



## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ОБРЕЗКИ ДОСОК**

Предложена методика расчета обрезающего оборудования в зависимости от технологического процесса с использованием циклограмм работы оборудования.

*Ключевые слова:* обрезка необрезных досок, интенсивность, обрезающее оборудование, циклограмма.

В последние годы отмечено резкое повышение производительности бревнопильного оборудования, связанное с увеличением скорости распиловки бревен. Пропускная способность такого оборудования доходит до 10 ... 20 бревен в минуту и более. Существующие обрезающие станки могут быть использованы в потоках с двухэтажными лесопильными рамами, с рециркуляцией бруса, а также при индивидуальном раскрое бревен.

Цель нашей работы – рассчитать максимальную интенсивность поступления необрезных досок к участкам обрезки с учетом оптимального вы-

хода пиломатериалов. Чтобы определить этот параметр, воспользуемся наиболее характерной спецификацией пиломатериалов, представленной в табл. 1.

Таблица 1

## Спецификация пиломатериалов

Толщина, мм	19	25	32	50	75
Ширина, мм	100	100	100	125	75
	125	125	125	150	150
	150	150	150	175	175
	175	175	175	200	200
	–	–	200	225	225

Интенсивность поступления необрезных досок  $J_i$  к обрезным станкам находим по следующим формулам:

а) для оборудования проходного типа

$$J_i = \frac{U}{L} K_m z_{н.д.}, \quad (1)$$

где  $U$  – скорость подачи бревна, м/мин;

$L$  – длина бревна, м;

$K_m$  – коэффициент использования машинного времени потока, принятый в расчете производительности;

$z_{н.д.}$  – число необрезных досок, выпиливаемых из бревна  $i$ -го диаметра, шт.;

б) для оборудования с рециркуляцией бревна

$$J_i = \frac{U}{Lm} K_m z_{н.д.}, \quad (2)$$

где  $m$  – число проходов при распиловке бревна  $i$ -го диаметра;

в) для оборудования индивидуальной распиловки

$$J_i = \frac{U}{Lz} K_m z_{н.д.}, \quad (3)$$

где  $z$  – число резов при распиловке бревна  $i$ -го диаметра;

г) для рамного оборудования

$$J_i = \frac{\Delta_{pi} n}{1000L} K_m z_{н.д.}, \quad (4)$$

где  $\Delta_{pi}$  – расчетная посылка при распиловке бревна  $i$ -го диаметра, мм;

$n$  – частота вращения коленчатого вала рамы, мин<sup>-1</sup> [2].

Скорость подачи бревен выбирают по паспорту используемого оборудования. Примерную скорость подачи можно определить, используя систему

$$\begin{cases} U_0 = \frac{G_0}{d_0} + G_1; \\ U_1 = \frac{G_0}{d_1} + G_1, \end{cases} \quad (5)$$

где  $d_0$  и  $d_1$  – минимальный и максимальный диаметры бревен, взятые из обрабатываемой кривой сырья, см;

$U_0$  и  $U_1$  – максимальная и минимальная скорости распиловки бревен соответствующих диаметров, м/мин;

$G_0$  и  $G_1$  – коэффициенты аппроксимации.

Решая систему (5), находим

$$U = \frac{G_0}{d} + G_1, \quad (6)$$

где  $d$  – диаметр бревна, для которого определяют скорость подачи, мм.

Таблица 2

#### Характеристика оборудования

Показатель	Esterer WD		2P75	Kara	ЛБ-130 с рециркуляцией бруса
	проходного типа	с рециркуляцией бруса			
Скорость подачи, м/мин	80...40	100...45	46...14*	50...45	68...40
Максимальная интенсивность поступления досок, шт./мин	74,80	22,50	9,38	7,61	15,25

\* Посылка в миллиметрах.

Величины  $G_0$  и  $G_1$  определяют один раз для выбранного типа оборудования. Например, при диаметре бревен 120 ... 520 мм и скорости подачи 40 ... 80 м/мин, решая (5), находим  $G_0 = 6240$ ;  $G_1 = 28$ .

Если  $d = 46,0$  мм, то

$$U = \frac{6240}{460} + 28 \approx 42 \text{ м/мин.}$$

Максимальную интенсивность поступления необрезных досок в линии на базе двухвального круглопильного станка фирмы «Esterer WD» [3] с фрезерным узлом проходного типа определяем по (2) как наибольшую полученную для всех распиливаемых диаметров:

$$J = \frac{42}{6} 0,9 \cdot 12 = 74,8 \text{ шт.}$$

В данной статье рассмотрены бревнопильные линии на базе следующего оборудования (табл. 2):

двухвальный круглопильный станок фирмы «Esterer WD» с фрезерным узлом проходного типа ( $K_m = 0,9$ );

двухвальный круглопильный станок фирмы «Esterer WD» с двумя пилами и рециркуляцией бруса ( $K_m = 0,9$ );

рама 2P75, ( $K_m = 0,875$ );

линия из 4 станков Кара для индивидуальной распиловки ( $K_m = 0,35$ );

ленточнопильный станок ЛБ-130 с рециркуляцией ( $K_m = 0,9$ ).

Как видно из рис. 1, максимальное количество досок получено на оборудовании фирмы «Esterer WD» проходного типа. При средней длине необрезной доски, равной 5 м, имеется необходимость использовать кромкообрезное оборудование со скоростью подачи до 350 м/мин (идеальная производительность станка). Для механизированной подачи на участке обрезки  $K_m = 0,5$  (рис. 2). С учетом того, что  $K_m$  современного кромкообрезного оборудования не превышает 0,70 ... 0,75 (рис. 3), на современных предприятиях необходимо иметь оборудование, способное обрабатывать необрезные доски со скоростью около 450 м/мин.

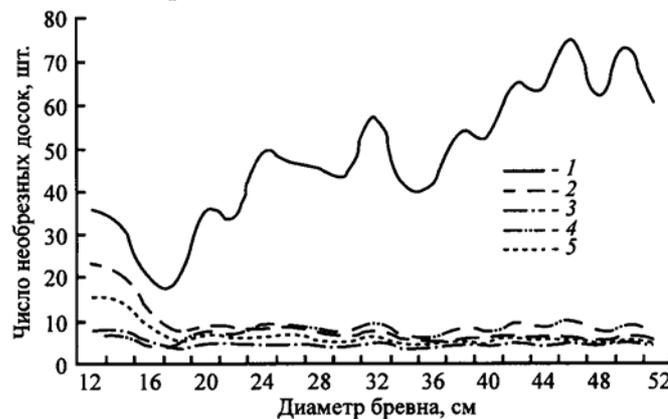


Рис. 1. Распределение числа необрезных досок в зависимости от диаметра бревна и скорости распиловки: 1 – Esterer WD проходного типа; 2 – то же с рециркуляцией; 3 – рама 2P75; 4 – четыре станка Кара; 5 – ЛБ-130 с рециркуляцией

Скорость подачи на обрезных станках типа Ц2Д колеблется от 30 до 180 м/мин ( $K_m = 0,5$  при средней длине доски 5 м и скорости подачи 180 м/мин). Они могут быть рекомендованы к использованию на предприятиях, имеющих в качестве головного оборудования Esterer WD с рециркуляцией бруса, ЛБ-130 с рециркуляцией бруса, рамы 2P75, а также в случае индивидуальной распиловки на станках Кара.

На рис. 2 представлена циклограмма работы обрезного станка для досок длиной 6 м. Скорость подачи 120 (первый и третий рабочие циклы) и 180 м/мин (второй рабочий цикл). Время на вспомогательную операцию «взять доску и повернуть» определяется в данном случае временем ухода

предыдущей доски со впередистаночного стола, которое в свою очередь зависит от скорости обрезки предыдущей доски [1].



Рис. 2. Циклограмма работы обрезного станка при разной продолжительности рабочего цикла

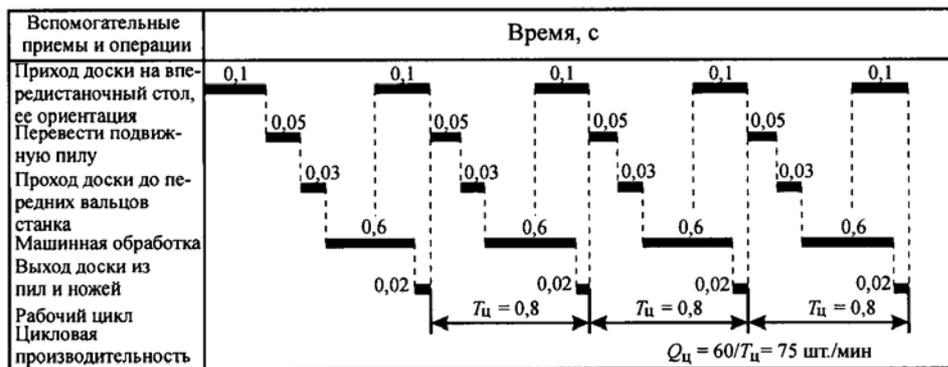


Рис. 3. Примерная циклограмма работы обрезного станка при одинаковой продолжительности рабочего цикла

Для крупных предприятий с линией, например, на базе двухвального круглопильного станка Esterer WD (фрезерный узел проходного типа) необходимо применять не станки, а обрезные системы, обеспечивающие необходимую скорость обрезки необрезной доски, а также требуемое качество получаемых пиломатериалов. Рекомендуются обрезные системы Opti-500EW Drive с пропускной способностью до 500 м/мин и  $K_M = 0,72$  (рис. 3).

В зависимости от спецификации предприятий при выпилке меньшего объема необрезных досок можно использовать систему Optimes 2000 с четырехкамерной системой сканирования. Пропускная способность данной линии – до 380 м/мин. К достоинствам таких систем также можно отнести автоматическое определение качества получаемого материала при подходе к столу.

*Выводы*

1. Представленная методика позволяет с достаточной степенью достоверности определить максимальную интенсивность поступления необрезных досок на все основные типы современных бревнопильных линий.

2. Автоматизация процессов обрезки необрезных досок позволяет в несколько раз увеличить цикловую производительность обрезных станков с повышением коэффициента их использования от 0,50 до 0,72.

3. В зависимости от типа оборудования может быть достигнута максимальная интенсивность поступления необрезных досок из бревен различного диаметра.

4. Применение автоматических участков обрезки необрезных досок возможно только при использовании в системе управления датчиков автоматического определения качества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калитеевский, Р.Е.* Автоматизация технологических процессов лесопиления [Текст] / Р.Е. Калитеевский. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 339 с.
2. *Калитеевский, Р.Е.* Лесопиление в 21 веке [Текст] / Р.Е. Калитеевский. – СПб.: Профи Информ, 2005. – 480 с.
3. Официальный сайт компании «Esterer Wd» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.estererwd.ru](http://www.estererwd.ru).

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 29.05.06

*R.E. Kaliteevsky, A.A. Tambi, A.V. Gavryukov,  
A.P. Artemenkov, V.M. Toropov*  
Saint-Petersburg Forest-Technical Academy

#### **Design Procedure of Trimming Processes for Boards**

Design procedure of a trimming machine is offered depending on the technological process applied at the enterprise using cyclograms for machine work.

Keywords: trimming of unedged boards, trimming machine, cyclogram.

---



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.16

*Э.И. Гермер*

Гермер Эмиль Исаакович окончил Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, доктор химических наук, заместитель генерального директора СПБОО «Экология и бизнес» по новым технологиям. Имеет около 180 печатных работ в области производства целлюлозы, преимущественно по химии, технологии и катализу кислородно-щелочной делигнификации, экологии и технологии целлюлозно-бумажного производства.



### **СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЦБП И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ В РОССИИ. 2. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СБРОСОВ И ВЫБРОСОВ**

Предложено в основу экологического нормирования технологических процессов ЦБП положить удельные (на 1 т продукта) интегральные показатели, принятые для нормирования в большинстве промышленно развитых стран; на основе анализа мирового опыта предложены значения этих показателей для производства всех основных видов продукции ЦБП.

*Ключевые слова:* экологические нормативы, удельные интегральные показатели, процессы ЦБП.

В непростом вопросе, связанном со значениями нормируемых показателей, необходимо учитывать реальное состояние российской ЦБП, в частности весьма значительную долю не только морально устаревшего, но даже просто физически изношенного оборудования на многих предприятиях, которые были построены или существенно модернизированы еще в первой половине 1970-х гг., когда отсталость ЦБП превратилась в тормоз развития всего народного хозяйства. Относительно малая по сегодняшним меркам производительность небольших старых предприятий (80 ... 300 тыс. т в год) делает срок окупаемости их модернизации слишком большим. Сложность ситуации усугубляется также относительной молодостью отечественных компаний, владеющих этими предприятиями, – они еще не успели накопить капитал, достаточный для масштабной модернизации вследствие весьма высокой стоимости основного оборудования в отрасли (например, современный аппарат для промывки волокнистой массы на мировом рынке оборудования стоит около 1 ... 3 млн долларов, система кислородно-

щелочной делигнификации – до 10 ... 20 млн долларов и др.). Получение кредитов, оборудования в лизинг и др. для таких предприятий затруднено из-за их низкой залоговой стоимости и высоких банковских процентов. Однако по ряду важных причин (не только экономических, но и социальных) государство не заинтересовано их закрывать. И дело не только в том, что уже сегодня многими крупнейшими и наиболее модернизированными предприятиями российской ЦБП, выпускающими около половины всей целлюлозно-бумажной продукции, производимой в России, владеют иностранные компании, но и в том, что многие из наших проблемных предприятий ЦБП являются градообразующими. Тем не менее, окружающая среда, от состояния которой зависит качество жизни и здоровье, если не сама жизнь, большого числа живущих, а также последующих поколений, испытывает давление со стороны отсталых предприятий.

Учитывая указанные обстоятельства, разработчики нормативов старались пройти «между Сциллой и Харибдой»: с одной стороны, значения нормируемых показателей не должны превышать значения, рекомендованные для ЦБП различными международными природоохранными комитетами и организациями (Хелком, Межправительственный совет северных стран и т.д.), и, следовательно, соответствовать достаточно высокому уровню внедрения НСТ как в основную технологию, так и в технологию очистки сточных вод и газовых выбросов, с другой – нормируемые показатели должны быть реально достижимы большинством российских предприятий хотя бы частично уже сегодня, а целиком – в ближайшем будущем.

Разработчики справились с этой непростой задачей, что следует из положительных заключений по результатам подробного анализа каждого этапа работы и всего Проекта в целом. Данный факт подтверждает то, что большинство наиболее модернизированных российских крупных предприятий ЦБП уже сегодня в состоянии соответствовать нормативным требованиям по ряду показателей. Однако ни один российский ЦБК или ЦЗ сегодня в полном объеме этому не соответствует, т.е. необходимость дальнейшего совершенствования основной и природоохранной технологии сохраняется даже у самых лучших.

В качестве иллюстрации подхода, который был реализован при определении отдельных нормируемых показателей, приведем табл. 1 из сборника «Обоснование технологических нормативов сбросов, выбросов загрязняющих веществ...», являющегося одной из частей общего Проекта. В табл. 1 содержатся соответствующие нормируемые показатели, рекомендованные международными организациями, и значения, достигнутые лучшими и средними европейскими предприятиями, а также диапазоны значений для каждого нормируемого показателя, начиная от посредственных до самых лучших европейских заводов и др. В результате сопоставительного анализа этих данных с учетом специфики каждого нормируемого компонента, а зачастую с привлечением более локальных (менее общих) таблиц, были предложены значения показателей для российских норм, которые учитывают всю реальную картину по каждому показателю в целом по Европе.











Чаще всего предложенные нормативные значения ближе к среднеевропейским и не превышают верхнюю границу интервала для каждого показателя, рекомендованную европейскими природоохранными организациями. В подтверждение можно сравнить данные для беленой сульфатной целлюлозы, представленные в табл. 1 и верхней строчке табл. 2, где приведены значения, предложенные в Проекте на основе изложенного подхода для российских норм.

Аналогичный подход был реализован и при разработке норм для прочих основных видов волокнистых полуфабрикатов, бумаги и картона (табл. 3–6). Знакомство с результатами этой работы дает возможность сопоставить значения экологических показателей, достигнутых сегодня на соответствующем производстве тем или иным предприятием, со значениями, которые соответствуют европейским требованиям и могут стать нормативными, естественно, после их рассмотрения и последующего утверждения соответствующими общероссийскими государственными природоохранными органами. При этом не исключена некоторая корректировка нормируемых показателей, скорее в сторону некоторого ужесточения, а не смягчения. Это должно помочь предприятиям при корректировке планов модернизации технологии, а также других природоохранных мероприятий, с целью выхода на указанные в таблицах нормативные значения.

Как уже отмечалось выше, нормативы представлены отдельно для каждого из основных видов производств ЦБП. Однако фактически все предприятия российской ЦБП, дающие основное количество целлюлозно-бумажной продукции страны, являются интегрированными, в состав которых входит несколько производств из числа подлежащих нормированию. Нормативный общий сброс таких предприятий по каждому нормируемому компоненту рассчитывают с учетом каждого производства путем умножения его производительности (суточной, месячной, квартальной, годовой) по соответствующему волокнистому продукту на нормативное значение данного показателя (ХПК, БПК<sub>5</sub> и т.п.) и последующего суммирования полученных значений. Получаемый суммарный результат (в кг/сут; т/мес., т/год и т.п.) сопоставляют с фактическим сбросом данного компонента с очистных сооружений предприятия («на конце трубы») за тот же период, показывая соответствует или нет фактический сброс нормативному, а если не соответствует, то в большую или меньшую сторону и на какую величину.

Для определения фактического значения выбросов в атмосферу по каждому нормируемому компоненту (суммарная газообразная сера, NO<sub>x</sub>, пыль) суммирование производят для отдельных источников выбросов с учетом того, к какому производству они относятся. Полученный суммарный результат для данного компонента сравнивают с его нормативным значением, которое получают за счет умножения нормируемого значения данного компонента для конкретного индивидуального производства на производительность по тому волокнистому продукту (полуфабрикату), которое оно производит. Затем суммируют полученные произведения по каждому производству (в кг(т)/сут (мес., год)). При этом выбросы ТЭЦ рассматривают

отдельно на основе нормативов, принятых для аналогичных котлоагрегатов в энергетической промышленности.

Аналогичным образом производят расчет и сопоставление расходов энергии, а также общего количества сточных вод. Более детальное рассмотрение данного вопроса выходит за рамки этой статьи, тем более, что методика расчета нормативов снабжена примерами и достаточно подробно изложена в «Методических указаниях по использованию сборника НСТ и технологических нормативов для ЦБП России», являющихся полноправной составной частью обсуждаемого Проекта, которая после утверждения предлагаемых нормативов будет предоставлена всем предприятиям ЦБП.

Следует подчеркнуть, что независимо от того, будет или не будет принят в качестве нормативного обсуждавшийся выше перечень интегральных показателей, предложенных в рассматриваемом Проекте, они имеют большой самостоятельный интерес, являясь теми «реперными» точками, по которым предприятия ЦБП различного профиля могут сверять свои показатели очистки сточных вод и газовых выбросов с достижениями европейских предприятий со средним уровнем модернизации, а также корректировать свои планы природоохранных мероприятий и модернизации технологии.

СПБОО «Экология и бизнес»

Поступила 18.04.07

*E.I. Hermer*

Saint-Petersburg Ltd. "Ecology and Business"

### **Modern Concept of Ecological Control of Technological Processes in Pulp-and-paper Production and Possible Ways of its Realization in Russia. 2. Recommended Values of Rated Indices of Discharge and Emissions**

It is proposed to lay specific (per 1 ton of products) integral indices accepted for control in the majority of industrially developed countries as the basis of ecological control of technological processes in pulp-and-paper production. The values of indices for production of all main PPP products are offered based on the global experience.

Keywords: ecological control, specific integral indices, PPP processes.

УДК 676.019.264

*У.О. Цибульски, Т.Б. Печурина*

Печурина Татьяна Борисовна родилась в 1979 г., окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства АГТУ. Имеет более 10 печатных работ в области совершенствования технологии производства полуфабрикатов.



## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КИСЛОРОДНО-ЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ**

Представлен обзор литературных данных по способам интенсификации кислородно-щелочной делигнификации.

*Ключевые слова:* кислородно-щелочная обработка, целлюлоза, лигнин, число Каппа.

Назначение процесса кислородно-щелочной обработки целлюлозы (КЩО) – удаление остаточного лигнина (т.е. снижение числа Каппа) перед отбелкой и частичное растворение экстрактивных веществ.

Снижение числа Каппа обеспечивается протеканием двух процессов: окислительной деструкции лигнина и последующего растворения остаточного лигнина в щелочи. Теоретически степень делигнификации хвойной целлюлозы на ступени КЩО может достигать 90 %, однако существующие технологии КЩО ограничиваются 40 %-й степенью делигнификации для одноступенчатых схем или 50 ... 60 %-й для двухступенчатых. Для лиственной целлюлозы эти показатели еще ниже. Причиной пониженной эффективности КЩО является невысокая избирательность этого процесса по отношению к углеводной части технической целлюлозы, а для лиственной целлюлозы – особенности химического состава, а именно: повышенное содержание групп гексенуроновых кислот.

Избирательность процесса может быть либо повышена за счет проведения предварительных обработок, либо использованием различных добавок, в том числе катализаторов, повышающих избирательность процесса непосредственно на стадии обработки.

Цель предварительных обработок – окисление лигнина для повышения его гидрофильности, а следовательно, и растворимости в водных средах.

Одним из первых способов, предложенных для повышения избирательности процесса КЩО, был «Prenox», который заключался в обработке небеленой целлюлозы окислами азота [25, 26, 30, 31].

Проведение обработок окислами азота лиственной и хвойной сульфатной целлюлозы повышает степень делигнификации после КЩО с 50 ... 55 до 75 % (2 – 3 ед. Каппа) без снижения вязкости целлюлозы и разрывной длины. Основные условия обработки: температура – 25 ... 30 °С;

концентрация массы – 30 ... 35 %. Из-за токсичности азотсодержащих газов выбросов этот способ не нашел промышленного применения.

Более перспективным вариантом предварительных обработок являются обработки перокси- или надкислотами [11, 12, 14, 17, 18].

Как известно, надкислоты относятся к классу гидропероксидов и представляют собой кислоты (органические и неорганические), в которых гидроксильная группа (-О-Н) замещена на гидропероксидную (-О-О-Н). Наиболее часто применяют надуксусную кислоту (CH<sub>3</sub>COOOH)(НУК) и надсерную кислоту (H<sub>2</sub>SO<sub>5</sub>), или кислоту Каро, и ее соли – пероксимонсульфаты [12].

Обработка целлюлозы кислотой Каро или ее солями снижает число Каппа на 2–3 ед. на каждый процент расхода реагента, однако степень достаточно эффективна только при условии удаления металлов переменной валентности [11]. Недостаток кислоты Каро – необходимость промывки целлюлозы перед КЩО. Более удобным вариантом в этом случае является использование ее натриевых солей, но их промышленное производство не налажено.

Использование НУК обеспечивает не только снижение содержания лигнина, но и прирост белизны на 2 ... 3 % [17]. Однако во избежание деструкции углеводов под действием пероксида водорода в кислых средах для обработок следует использовать дистиллированную НУК, что существенно увеличивает ее стоимость.

Для повышения экономичности использования НУК и сохранения высокой эффективности делигнификации предложена другая последовательность обработок: КЩО – Q – НУК (где Q – хелатирование) [17].

Повышение эффективности КЩО может быть достигнуто также при проведении предварительных обработок хлором или диоксидом хлора с расходами химикатов до 10 кг/т [15, 21, 24]. Опытная выработка, проведенная на заводе «Нусум» (Швеция), показала (табл. 1), что предварительная обработка хлором обеспечивает существенное повышение белизны без снижения вязкости при сокращении количества ступеней отбелки.

Таблица 1

#### Влияние предварительной обработки хлором на свойства целлюлозы [24]

Показатель	Значение показателя для схемы отбелки	
	КЩО – X – Щ – Д	X – КЩО – Д
Число Каппа небеленой целлюлозы	35,0	32,5
Вязкость целлюлозы, см <sup>3</sup> /г:		
после КЩО	1000	965
конечная	955	950
Белизна целлюлозы, %:		
после КЩО	–	54,4
конечная	85,5	89,0

Недостатком предварительной обработки хлором является его токсичность и возникновение затруднений при замыкании водооборота.

Для повышения избирательности процесса КЩО используют пероксид водорода, а также добавки, полученные на основе лигнина, – азопроизводные лигнина (АПЛ).

Промышленное применение получил пероксид водорода [9, 19, 20]. Предполагают, что механизм действия пероксида водорода в этом случае следующий: в щелочной среде на стадии КЩО протекают реакции, результатом которых является образование радикалов, обладающих высокой окислительной способностью, в том числе пероксидных радикалов лигнина [9]. Из-за высокого окислительного потенциала продолжительность жизни образующихся радикалов короткая, и они вступают в реакцию практически мгновенно на месте образования. В результате имеет место интенсивная деструкция целлюлозы и конденсация лигнина. Добавка  $H_2O_2$  подавляет образование радикалов лигнина, снижая степень деструкции целлюлозы и конденсации лигнина. Расход пероксида водорода колеблется от 3 ... 5 до 10 кг/т [1, 7].

Чрезвычайно высокую эффективность при использовании их на стадии КЩО показали азопроизводные лигнина (АПЛ), которые ингибируют окислительную деструкцию целлюлозы и взаимодействуют с молекулами остаточного лигнина, способствуя его деструкции и растворению в щелочной среде. АПЛ добавляют непосредственно на ступень КЩО [8]. В качестве добавок на стадии КЩО исследованы следующие АПЛ: лигнин-азобензол, лигнин-азо-*n*-метилбензол, лигнин-азо-*m*-метилбензол, лигнин-азо-*n*-нитробензол, лигнин-азо-*o*-карбоксобензол, лигнин-азо-*n*-сульфобензол, лигнин-азо-1-нафталин, лигнин-1-азо-4-аминодифенил, лигнин-азо-*n*-метоксибензол.

Условия лабораторных испытаний: температура обработки – 110 ... 115 °С, давление – 1 МПа, концентрация массы – 9 %, продолжительность – 60 мин, расход щелочи – 4 % от массы абс. сухого волокна [8]. Результаты исследований показали, что добавка АПЛ на ступень КЩО обеспечивает повышение избирательности делигнификации для различных видов технической целлюлозы. В этом случае не только снижается содержание остаточного лигнина, но и возрастает белизна целлюлозы при одновременном увеличении выхода полуфабриката (табл. 2, 3).

В работах [22, 23] показана возможность повышения эффективности делигнификации целлюлозы при обработке по схеме КЩО – П при активации ступени пероксидной обработки пероксомолибдатом (mP). Использование пероксида водорода при добавке молибдата на ступень П обеспечивает степень делигнификации 40 ... 50 % при температуре обработки 80 °С и продолжительности 180 мин [22]. Количество активатора зависит от числа Каппа и схемы использования. Обычная дозировка составляет 0,2 ... 0,4 кг/т на стадии делигнификации и 0,2 кг/т на стадии активации. Молибден может быть восстановлен в процессе реакции, поэтому количество вновь добавляемого активатора составляет только 20 % от первоначальной дозы [22].

Таблица 2

## Характеристика сульфатной целлюлозы после КЩО в присутствии АПЛ [8]

Сульфатная целлюлоза	Добавка, % от м.в.	Выход, %	Степень полимеризации	Белизна, %	Содержание лигнина, %
Братского ЛПК	Контроль	92,32	1112	53,6	0,98
	Лигнин-азо-бензол, 1,0	93,01	1202	54,6	0,91
Сыктывкарского ЛПК	Лигнин-азо- <i>o</i> -карбокситбензол, 1,0	92,94	1052	55,0	0,90
	Контроль	94,31	908	54,2	0,70
	Лигнин-азо-бензол: 0,1	94,30	915	54,3	0,69
	0,5	94,75	966	57,1	0,51
	1,0	95,28	950	57,2	0,50
	2,0	95,80	1010	55,0	0,62
Кордная Братского ЛПК	Контроль	92,59	800	60,0	0,60
	Лигнин-азо-бензол, 1,0	94,04	836	62,7	0,48
	Лигнин-азо- <i>o</i> -карбокситбензол, 1,0	94,33	853	63,1	0,55

Таблица 3

## Характеристика кордной сульфатной целлюлозы после КЩО в присутствии АПЛ [8]

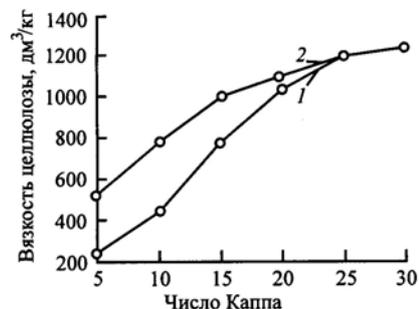
Добавка, % от м.в.	Выход, %	Степень полимеризации	Белизна, %	Содержание лигнина, %
Контроль	93,50	986	55,0	0,83
Лигнин-азо- <i>m</i> -метилбензол, 1,0	95,27	1265	62,9	0,45
Лигнин-азо- <i>n</i> -метилбензол, 1,0	94,91	1059	66,1	0,39
Лигнин-азо- <i>n</i> -нитробензол, 0,5	93,59	1047	54,3	0,90
Лигнин-азо- <i>n</i> -нитробензол, 1,0	95,02	1107	63,2	0,47
Лигнин-азо- <i>n</i> -сульфобензол, 0,1	94,94	980	63,2	0,40
Лигнин-азо- <i>n</i> -метоксибензол, 0,5	94,36	970	63,0	0,41
Лигнин-1-азо-4'-аминодифенил, 0,5	93,55	1105	67,4	0,40
Лигнин-азо-1-нафталин, 0,3	94,57	1057	57,1	0,70

Сама по себе mP-стадия не очень чувствительна к металлам с переменной валентностью (Fe, Mn).

Для того, чтобы предотвратить деградацию пероксида водорода на последующих стадиях, включают стадию хелатирования. Дополнительное преимущество использования перкомоблибата – эффективное удаление около 70 % групп гексенурановой кислоты из лиственной сульфатной целлюлозы при существенном снижении числа Каппа [22].

При отбелке целлюлозы с исходным значением числа Каппа 24 п.ед. при суммарном расходе диоксида хлора 40 кг/т, пероксида водорода 10 кг/т по схеме O-mP-D-E-D белизна и вязкость соответственно выше

Влияние добавки сульфата магния на свойства целлюлозы после КЦО: 1 – без добавки ингибитора; 2 – с добавкой  $MgSO_4$



88 % и  $700 дм^3/кг$  при сопротивлении разрыву  $14,5 мН·м^2/г$  [23]. Некоторым недостатком полученного результата можно считать пониженную вязкость целлюлозы. Обработки молибденом могут быть использованы в схемах ЕСФ и ТСФ при отбелке хвойной и лиственной целлюлозы [23]. Однако высокая стоимость молибдатов также не позволяет сегодня реализовать этот способ в промышленных масштабах.

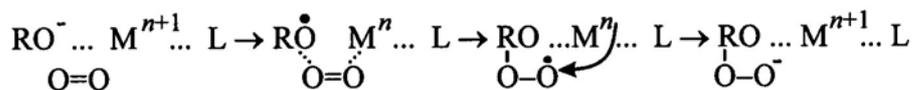
Поскольку процессы, протекающие на стадии КЦО, являются радикальными, и основное разрушающее действие на углеводную часть оказывают пероксидные радикалы лигнина, то на этой стадии хороший эффект обеспечивается добавкой так называемых ингибиторов, которые устраняют влияние солей жесткости воды и металлов переменной валентности, инициирующих процессы образования радикалов [28]. Наиболее дешевыми и распространенными ингибиторами являются соли магния ( $MgCO_3$ ,  $MgSO_4$ ).

На рисунке показано влияние добавки сульфата магния на вязкость целлюлозы после КЦО при расходе сульфата магния – 20 моль/т абс. сухой целлюлозы [16].

В работе [27] представлены результаты, которые подтверждают эффективность использования ингибиторов: сульфат магния на ступени КЦО обеспечивает повышение белизны целлюлозы от 58,3 до 68,0 ... 75,0 %. Условия обработки при этом следующие: давление кислорода – 8 атм, концентрация массы – 10 %, расход сульфата магния – 1 % от целлюлозы, температура – 90 ... 120 °С.

Помимо добавок, повышающих избирательность делигнификации на стадии КЦО, предложен также ряд веществ, которые оказывают каталитический эффект на процесс. Катализ КЦО, как и катализ процессов оксигенирования в органической химии, осуществляется, в основном, соединениями металлов переменной валентности (МПВ).

Исследования, выполненные в России в 80-х годах XX в. [2, 3, 10], показали высокую эффективность катализатора – фенантролина. Добавка 1, 10-фенантролина в количестве 0,1 ... 0,5 % от массы целлюлозы ускоряет делигнификацию в 1,6–2,0 раза и более при сохранении или небольшом повышении прочностных свойств и выхода целлюлозы. Фенантролин образует комплексы с металлами переменной валентности, находящимися в лигноцеллюлозных материалах и соединенными с лигнином координационными или другими типами связей [5]:



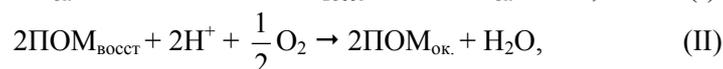
где RO – фенолят-ион в составе макромолекулы лигнина;  
M – металл переменной валентности; L – лиганд

В результате образуется комплекс типа  $[\text{RO}^- \dots \text{M}^{n+1} \dots \text{L}]$ , способный во внешней среде координировать кислород. Структура  $\text{RO}^-$ , входящая в состав этого комплекса, – ионизированная в щелочной среде фенольная структура лигнина. При образовании такого комплекса легче, чем при обработке в отсутствие катализатора, происходит активация фенольных структур лигнина с образованием фенокси-радикала, который легко взаимодействует с кислородом до пероксидных, эпоксидных, диоксирановых интермедиатов. Их разрушение приводит к фрагментации лигнина и ускорению делигнификации [4].

В работе Э.И. Чупки с сотрудниками [13] представлены результаты, свидетельствующие о возможности создания способов делигнификации, в которых совмещается процесс делигнификации с непрерывной генерацией  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Генерация пероксида водорода происходит за счет трансформации молекулярного кислорода. Выход  $\text{H}_2\text{O}_2$  соизмерим с добавкой этого реагента, обеспечивающей концентрацию его в системе на уровне 3 %. При этом процесс идет непрерывно на протяжении длительного времени, в то время как дискретные добавки  $\text{H}_2\text{O}_2$  приводят к его значительному самопроизвольному распаду. Этот вариант аналогичен добавке  $\text{H}_2\text{O}_2$  на ступень КЩО, но более эффективен, поскольку в этом случае  $\text{H}_2\text{O}_2$  непрерывно генерируется в системе. В данной работе [13] использовали такие каталитические системы, как  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ , порфирины Fe, Cu, Co, Zn, Mn и салькомин. Эффективность генерации пероксида водорода порфиринами и салькоминном зависит от вида металла. Наиболее эффективными, по данным [13], являются порфирин Co и салькомин, увеличивающие в сравнимых условиях концентрацию  $\text{OH}^-$  в 27 и 7 раз соответственно [13].

В работах [6, 29] предложено использование на стадии КЩО так называемых полиоксиметалатов (ПОМ), которые устойчивы в широком диапазоне температур, имеют способность обратного окисления кислородом и могут повторно применяться в технологических процессах.

Базовые принципы работы ПОМ в процессе КЩО могут быть представлены двумя последовательными реакциями [29]:



где  $\text{ПОМ}_{\text{ок}}$  и  $\text{ПОМ}_{\text{восст}}$  – окисленный и восстановленный катализатор;  
 $\text{Лигнин}_{\text{ок}}$  – окисленный лигнин.

В промышленности ПОМ как катализатор в процессе кислородно-щелочной делигнификации предложено использовать в конце 90-х годов XX в. По данным [6] при добавке ПОМ на ступень КЩО в количестве, обеспечивающем концентрацию 1... 3 ммоль/л, в течение 1,5 ... 2,0 ч достигается высокая степень делигнификации (более 60 %) лиственной сульфатной целлюлозы.

Однако исследования, проведенные К. Ruuttunen [29], показали более низкую эффективность ПОМ. Возможно, снижение эффекта обусловлено нехарактерными для КЩО условиями обработки: концентрация – 10 %, pH – 5, продолжительность – 90 мин, температура – 90 °С, давление – 0,5 МПа, расход ПОМ – 0,3 ммоль/л или 10 г/кг абс. сухой целлюлозы, расход SiMo – 0,6 ммоль/л из расчета ~ 0,5 г Мо /кг абс. сухой целлюлозы. В качестве катализаторов использовали  $K_6[AlMn(H_2O)W_{11}O_{39}]$  – ПОМ 1 и  $(NH_4)_5H_4[PV_6Mo_6O_{40}]$  – ПОМ 2. Стадия основной делигнификации проходила при щелочной экстракции. При этом максимальная эффективность делигнификации достигалась в том случае, если имела место добавка пероксида водорода (табл. 4).

Таким образом, предложен ряд способов, позволяющих повысить эффективность кислородно-щелочной делигнификации без снижения избирательности процесса.

Эти способы можно разделить на три группы:  
 предварительные окислительные обработки;  
 добавки на ступень КЩО веществ, подавляющих образование пероксидных радикалов;  
 использование окислительно-восстановительных катализаторов.

Таблица 4

**Свойства целлюлозы после кислородной обработки  
в присутствии катализатора и последующей щелочной экстракции**

Добавка	Целлюлоза после кислородной обработки			Целлюлоза после щелочной экстракции		
	Число Каппа	Вязкость, мл/г	Содержание НехА, мкг/кг	Число Каппа	Вязкость, мл/г	Содержание НехА, мкг/кг
Контроль	29,9	1188	26,4	25,9	1176	25,7
ПОМ 1	26,4	1098	24,0	26,7	1166	24,7
ПОМ 1*	26,9	1143	25,6	25,5	1176	23,3
ПОМ 2	26,3	960	26,3	26,3	964	25,3
SiMo	28,8	1127	25,2	26,6	1128	24,2
SiMo+0,2% $H_2O_2$	26,8	1068	23,2	25,5	1062	21,3
SiMo+0,5% $H_2O_2$	26,1	991	19,6	24,0	994	17,4
ПОМ 1+SiMo	27,6	1123	25,0	25,6	1093	23,8
ПОМ 2+SiMo	27,6	980	27,9	25,9	976	25,8
ПОМ 1*+ SiMo	26,9	1112	24,3	25,2	1147	21,0

\* Расход ПОМ – 1,5 ммоль/л (~50 г/кг абс. сухой целлюлозы).

Из всех рассмотренных способов практическое применение нашли только два: добавка пероксида водорода и использование в качестве ингибиторов солей магния. Другие способы, в том числе использование катализаторов, в настоящее время не могут быть реализованы из-за высокой стоимости химикатов и их отсутствия на рынке в требуемых количествах. Поэтому проблему повышения эффективности кислородно-щелочной делигнификации нельзя считать полностью решенной. Кроме того, предлагаемые способы интенсификации КЩО не решают вторую, особенно острую для переработки лиственной древесины проблему – снижение содержания экстрактивных веществ на стадии КЩО. Хотя и существуют химикаты, которые могли бы ее решить, однако опыт их использования недостаточен и необходима их проверка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аким, Г.Л.* Современные методы отбелки сульфитной целлюлозы [Текст] / Г.Л. Аким // ЦБК. – 1994. – № 1–2. – С. 22–23.
2. *Гермер, Э.И.* Интенсификация кислородно-щелочной делигнификации целлюлозных материалов с помощью *o*-фенантролина. 3. О химизме и механизме действия *o*-фенантролина [Текст] / Э.И. Гермер, Ю.Г. Бутко // Химия древесины. – 1983. – № 5. – С. 32–37.
3. *Гермер, Э.И.* Интенсификация кислородно-щелочной делигнификации лигноцеллюлозных материалов с помощью *o*-фенантролина. 4. Влияние pH на кинетику делигнификации [Текст] / Э.И. Гермер // Химия древесины. – 1992. – № 4–5. – С. 46–55.
4. *Гермер, Э.И.* Катализ кислородной делигнификации при получении целлюлозы из древесины [Текст] / Э.И. Гермер // Междунар. научно-техн. конф. PAF-FOR (21 – 23 сент. 1992 г.): информ. сообщения. – СПб, Россия. – С. 38–40.
5. *Гермер, Э.И.* Катализ кислородно-щелочной делигнификации древесного сырья и пути его реализации [Текст] / Э.И. Гермер // Междунар. научно-техн. конф. PAF-FOR (10–12 октября 1994 г.): информ. сообщения. – СПб, Россия. – С. 31–32.
6. *Евтугин, Д.В.* Использование полиокиметалатов в качестве вспомогательной добавки в процессе кислородной делигнификации [Текст] / Д.В. Евтугин, К.П. Нетто // Сб. докл. Междунар. конф. по отбелке, 1–5 июня 1998 г., Хельсинки (Финляндия). – С. 487–492.
7. *Киреева, С.А.* Отбелка сульфитной целлюлозы композициями на основе перуксусной кислоты [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / С.А. Киреева. – Екатеринбург, 2003. – 141 с
8. *Красюк, Л.А.* КЩО технических целлюлоз в присутствии азопроизводных лигнина [Текст] / Л.А. Красюк, В.М. Альбицкая, Н.Е. Рихтер // Химическая переработка древесного сырья: межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. – Л.: ЛТА, 1984. – 136 с.
9. *Кряжев, А.М.* Схемы отбелки сульфитной целлюлозы для бумаг [Текст] / А.М. Кряжев, Ф.В. Шпаков, С.В. Мусинский // ЦБК. – 1998. – № 7–8. – С. 34–38.
10. *Онохин, С.А.* Интенсификация кислородно-щелочной делигнификации с помощью фенантролина [Текст] / С.А. Онохин, Э.И. Гермер, Ю.Г. Бутко // Безотходные технологические процессы химической переработки древесины и охрана окружающей среды: тез. докл. – Рига, 1981. – С. 39–44.

11. *Спрингер, Э.* Обработка хвойной сульфатной целлюлозы пероксимонсульфатом перед ступенью кислородной делигнификации [Текст] / Э. Спрингер // Tappi. – 1993. – № 8. – С. 194–199.
12. *Хек, Я.* Альтернативные технологии в разработке полностью бесхлорных схем отбелки [Текст] / Я. Хек // Svensk Papperstidn. – 1995. – № 2. – С. 16–18.
13. *Чупка, Э.И.* Проблемы катализа и активации кислорода при делигнификации древесины [Текст] / Э.И. Чупка // PAF-FOR (4–6 октября 1993 г.): пленарные докл. – СПб, Россия. – С. 78–93.
14. *Anderson, J.R.* On-site generation and use of peroxyacids in chemical pulp bleaching [Text] / J.R. Anderson, W. Wilkinson, B. Amini // 81<sup>st</sup> Annu. Meet. Techn. Sec. Can. Pulp and Paper Assoc., Montreal, Febr. 2–3, 1995. – Montreal, 1995. – P. 59–67.
15. *Chakar, F.S.* Extending the limits of oxygen delignification [Text] / F.S. Chakar, L.F. Lucia, A.J. Ragauskas // International Pulp Bleaching Conference Proceed. – Halifax, Nova Scotia, 2000. – P. 123–130.
16. *Dance, C.W.* Pulp Bleaching, Principle and Practices [Text] / C.W. Dance, D.W. Reeve. – Atlanta, Georgia: Tappi Press, 1996. – 868 p.
17. *Desperz, F.* Материалы фирмы «Solvay» (Бельгия) [Text] / F. Desperz, J. Devenys.
18. *Furmann, A.* Influence of TCF and ECF bleaching chemicals on softwood kraft pulp components [Text] / A. Furmann [et al.] // Paperi ja Puu. – 1996. – N 4, Vol. 78. – P. 172–179.
19. *Gellerstedt, G.* The reactions of lignin with alkaline hydrogen peroxide. Part 3. The oxidation of conjugated carbonyl structures [Text] / G. Gellerstedt, R. Agnemo // Acta Chem. Scand. B 34. – 1980. – P. 275–280.
20. *Gellerstedt, G.* The reactions of lignin with alkaline hydrogen peroxide. Part 5. The formation of stilbenes [Text] / G. Gellerstedt, R. Agnemo // Acta Chem. Scand. B 34. – 1980. – P. 461–462.
21. *Histed, J.* Simplified Bleaching; Environmental Advantages for existing Bleach Plants [Text] / J. Histed // Pulp & Paper Canada. – 1977. – Vol. 98, N 10. – P. 77–80.
22. *Jakara, J.* Activated acidic peroxide delignification of softwood and hardwood kraft pulps [Text] / J. Jakara, J. Patola // Japan Tappi Journal. – 1995. – N 50. – P. 375–381.
23. *Jakara, J.* The use of activated peroxide in ECF and TCF bleaching of kraft pulp [Text] / J. Jakara, J. Patola, S. Martikainen // International nonchlorine bleaching conference. – 1995.
24. *Jamieson, A.* Advances in oxygen bleaching. III. Oxygen bleaching pilot plant operation [Text] / A. Jamieson, S. Noreus, B. Pattersson // Tappi. – 1971. – Vol. 54, N 11. – P. 1903–1908.
25. *Libergott, N.* An overview of new development in pulping & bleaching [Text] / N. Libergott, B. Van Lierop // Pulp & Paper. – 1987.
26. *Lindqvist, B.* Nitrogen dioxide preoxidation before oxygen delignification. – A process for a future? [Text] / B. Lindqvist, A. Marlund, L. Lindstrom // International pulp bleaching conference preprints. – 1985. – P. 221
27. *Makkonen, H.* Oxygen bleaching of a sulphite pulp of easy – bleach grade, with subsequent peroxide bleaching [Text] / H. Makkonen, M. Pitkanen, M. Nikki // Paperi ja Puu. – 1973. – Vol. 55, N 12. – P. 947 – 958.

28. *Robert, A.* questions an answers on O<sub>2</sub> / NaOH bleaching and its practicality [Text] / A. Robert, A. Viallet, P. Rerolle, J.P. Andreolety // Paper Trade J. – 1968. – N 33. – Vol. 152. – P. 40–41.

29. *Ruuttunen, K.* Distribution and reaction of certain polyoxometalate anions in chemical pulp suspensions [Text] / K. Ruuttunen // Dissertation for degree of Doctor of Science in Technology to be presented with due permission of the Department of Forest Products Technology for public examination and debate in PUU 2 Auditorium at Helsinki University of Technology (Espoo, Finland) on the 6<sup>th</sup> of October, 2006. – 48 p.

30. *Samuelson, O.* Treatment of kraft pulp with nitrogen dioxide before oxygen bleaching [Text] / O. Samuelson, U. Ojted // Cellulose Chem. Technol. –1987. – N 21. – P. 129–136.

31. *Thompson N., Corbett H.* Effect of nitrogen dioxide pretreatment of some properties of oxygen – bleaching kraft pulps [Text] / N. Thompson, H. Corbett // Cellulose Chem. Technol. – 1988. – N 22. – P. 623–631.

BIM Finland OY

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 27.01.07

*U.O. Zibulski<sup>1</sup>, T.B. Pechurina<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>BIM Finland Oy

<sup>2</sup>Arkhangelsk State Technical University

### **Oxygen-alkaline Treatment Stimulation**

Literature data review related to stimulation of oxygen-alkaline delignification is provided.

Keywords: oxygen-alkaline treatment, pulp, lignin, Kappa number.

---

УДК 630\*905.2(47):674.031.632.134.2

**Р.И. Винокурова, И.Ю. Трошкова**

Винокурова Раиса Ибрагимовна родилась в 1953 г., окончила в 1975 г. Казанский государственный университет, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой химии Марийского государственного технического университета. Имеет более 50 публикаций в области лесохимии и экологического древесиноведения.



Трошкова Инга Юрьевна родилась в 1966 г., окончила в 1988 г. Томский государственный университет, ст. преподаватель кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Марийского государственного технического университета. Имеет 10 печатных работ в области лесохимии и экологического древесиноведения.



### **ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ БЕТУЛИНА И СУБЕРИНА В БЕРЕСТЕ *Betula pendula* Roth. В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ**

Рассмотрено изменение содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* Roth., произрастающих в различных географических условиях Восточно-Европейской равнины. Предложена математическая модель расчета.

*Ключевые слова:* внутривидовая изменчивость, экстрактивные вещества, береста, бетулин, суберин, географическая широта, долгота, математическая модель.

Под влиянием климатических факторов береза повислая *Betula pendula* Roth. в пределах вида характеризуется значительной изменчивостью по составу и количественному содержанию экстрактивных веществ коры [3–6, 9–11, 14]. Данные о количественном содержании бетулина и суберина в бересте *Betula pendula* разноречивы [2, 7, 8].

В связи с этим нами изучено изменение содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих в различных географических условиях.

Временные пробные площади закладывали на территории Архангельской, Рязанской, Ульяновской областей; республик Коми, Марий Эл и Чувашии. Участки выбирали вблизи северных границ обширного ареала *Betula pendula*, в равнинной части и в пределах Приволжской возвышенности Восточно-Европейской равнины. На каждом участке использовали по 10 деревьев.

Бересту заготавливали в июле 2002 г. в спелых насаждениях (древостоях) *Betula pendula* вблизи населенных пунктов лесопарковой зоны. Для химических анализов образцы бересты размером 5 × 5 см отбирали на высоте 1,3 м в 4-х геодезических направлениях ствола дерева. Высушенные до

воздушно-сухого состояния образцы измельчали в гомогенизаторе до частиц размером не более  $1 \times 3$  мм [12].

Для извлечения бетулина и суберина из бересты выбрана совмещенная методика [1] с выходом веществ 26 % от массы сухой бересты (степень извлечения не более 75 %). Идентификация полученных продуктов подтверждена температурой плавления [13].

Результаты анализов средних образцов бересты деревьев, произрастающих в различных географических условиях, на содержание бетулина и суберина представлены в табл. 1.

Таблица 1

Номер образца	Географические координаты		Содержание, %	
	Северная широта	Восточная долгота	бетулина	суберина
1	64°49'	40°38'	18,51±0,29	20,70±0,58
2	64°38'	41°07'	18,50±0,38	19,94±0,37
3	64°20'	41°09'	18,82±0,62	20,73±1,03
4	62°50'	43°30'	16,82±0,34	18,32±0,25
5	61°20'	46°38'	17,99±0,41	19,03±0,49
6	61°14'	42°36'	17,34±0,80	20,74±0,78
7	61°05'	42°10'	19,44±0,42	18,61±0,22
8	56°47'	48°29'	16,64±0,35	16,60±0,48
9	56°33'	48°39'	16,31±0,72	16,64±0,56
10	56°07'	48°10'	15,85±0,12	17,56±0,63
11	55°24'	46°33'	18,11±0,01	17,19±1,13
12	55°20'	47°12'	12,81±0,57	11,86±0,74
13	54°35'	48°20'	14,08±0,42	10,48± 0,50
14	54°20'	41°51'	16,67±0,99	14,68±0,84
15	53°30'	47°15'	15,56±0,84	14,19±0,97

Таблица 2

Показатель	Статистические характеристики						
	$\bar{X}$	$m_x$	$\varepsilon$	$X_{\min}$	$X_{\max}$	$N$	$V, \%$
Содержание бетулина $S_{\text{бет}}, \%$	16,90	0,47	1,82	12,81	19,44	15	10,75
Содержание суберина $S_{\text{суб}}, \%$	17,15	0,82	3,18	10,48	20,74	15	18,52

В результате статистического анализа исходных данных были определены средние значения содержания бетулина и суберина в бересте из разных районов исследования (табл. 2).

Для бетулина значение коэффициента вариации ( $V = 10,75 \%$ ) характеризует низкий уровень изменчивости содержания этого вещества в бере-

сте *Betula pendula*, для суберина значение  $V = 18,52\%$  указывает на средний уровень изменчивости изученного параметра бересты.

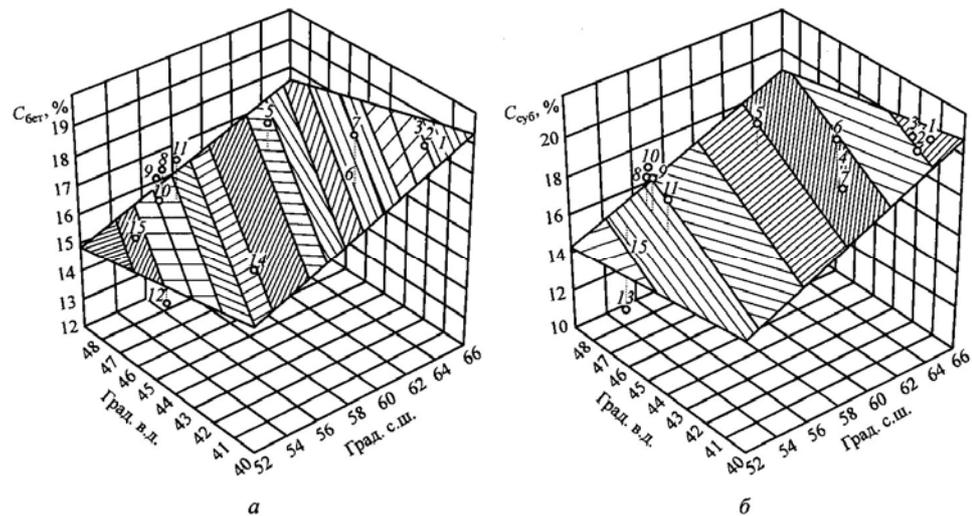
Характер зависимости содержания бетулина и суберина в бересте от географической широты (Ш) и долготы (Д) местности отражает модель множественной регрессии

$$C_{\text{бет}} = 1,976 \text{ Ш}^{0,654} \exp(-0,009 \text{ Д});$$

$$C_{\text{суб}} = 0,299 \text{ Ш}^{1,116} \exp(-0,010 \text{ Д}).$$

Графическое изображение 3D-моделей представлено на рисунке.

При увеличении географической широты местности отмечено некоторое возрастание содержания бетулина и суберина в бересте. С увеличением географической долготы содержание изучаемых веществ в бересте несколько уменьшается.



Зависимость  $C_{\text{бет}}$  (а) и  $C_{\text{суб}}$  (б) в бересте *Betula pendula* Roth. от географических координат местности: а –  $\Delta = -18,75\%$ ;  $R^2 = 0,53$ ; б –  $\Delta = -31,12\%$ ;  $R^2 = 0,62$

Методом дисперсионного анализа установлено достоверное влияние географической широты местности на содержание бетулина ( $F_{\text{факт}} = 4,88 > F_{\text{табл}} = 4,26$ ) и суберина ( $F_{\text{факт}} = 17,25 > F_{\text{табл}} = 4,26$ ) в бересте *Betula pendula* различного места произрастания.

Влияние географической долготы местности на содержание бетулина ( $F_{\text{факт}} = 3,09 < F_{\text{табл}} = 4,26$ ) и суберина ( $F_{\text{факт}} = 0,74 < F_{\text{табл}} = 4,26$ ) в бересте не доказано.

Таким образом, климатические условия произрастания деревьев *Betula pendula*, определяемые географической зональностью, оказывают незначительное влияние на содержание бетулина и суберина в бересте.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 382657 СССР, МКИ<sup>1</sup> С 08Н 5/04. Способ выделения бетулина и сублирина [Текст] / Т.И. Федорищев, В.Г. Калайков (СССР). – № 1472003/23 – 4; заявл. 14.08.70; опубл. 23.05.73; Бюл. № 23. – С. 66–67.
2. Баньковский, А.И. Исследование растений, применяемых в народной медицине, на содержание алкалоидов [Текст] / А.И. Баньковский, М.П. Зарубина, Л.Л. Сергеева // Тр. / ВНИИ лекарств. и ароматич. растений. – 1947. – Т. 9. – С. 119–179.
3. Бурдэ, Н.Л. Химический состав некоторых древесных пород, произрастающих на Урале [Текст] / Н.Л. Бурдэ, В.Н. Козлов // Лесн. журн. – 1960. – № 4. – С. 134–140. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Ветчинникова, Л.В. Жирнокислотный состав суммарных липидов различных органов *Betula pendula* Roth. и *B. pubescens* Ehrh., произрастающих в Карелии [Текст] / Л.В. Ветчинникова, Т.А. Шуляковская, Г.К. Канючкова // Растительные ресурсы. – 2000. – Т. 36, вып. 2. – С. 85–92.
5. Долгодворова, С.Я. Экстрактивные вещества древесины и коры древесных пород среднетаежной подзоны Сибири [Текст] / С.Я. Долгодворова, Г.И. Перышкина, В.П. Орешкина, Г.Н. Черняева // Экстрактивные вещества древесных пород Средней Сибири: сб. науч. тр. – Красноярск, 1977. – С. 3–26.
6. Ермаков, В.И. Морфофизиологические адаптации основных видов березы [Текст] / В.И. Ермаков // Вопросы адаптации растений к экстремальным условиям Севера. – Петрозаводск, 1975. – С. 64–68.
7. Йорданов, Д. Фитотерапия [Текст] / Д. Йорданов, П. Николов, А. Бойчинов. – София, 1970. – 342 с.
8. Кислицын, А.Н. Экстрактивные вещества бересты: выделение, состав, свойства, применение [Текст] / А.Н. Кислицын // Химия древесины. – 1994. – № 3. – С. 3–28.
9. Комшилов, Н.Д. Химический состав древесины карельской березы [Текст] / Н.Д. Комшилов, Т.А. Селиванова // Вопросы лесоведения и лесной энтомологии в Карелии. – М.; Л., 1962. – С. 47–51.
10. Кони́на, Л.В. Изменчивость некоторых видов березы по содержанию липидов в почках в условиях Европейского Севера [Текст] / Л.В. Кони́на // Лесоведение. – 1980. – № 6. – С. 46–51.
11. Родионов, В.С. Изменения в мембранных липидах растений при пониженных температурах [Текст] / В.С. Родионов // Липидный обмен древесных растений в условиях Севера. – Петрозаводск, 1983. – С. 4–68.
12. Селянина, Л.И. Выделение бетулина из отходов переработки березы экстракцией спиртом [Текст] / Л.И. Селянина // Лесн. журн. – 2004. – № 4. – С. 92–96. – (Изв. высш. учеб. заведений).
13. Справочник химика [Текст]: – Л.; М.: Химия, 1964. – Т. 2. – С. 534 – 535.
14. Черняева, Г.Н. Содержание катехинов в коре березы (*Betula pendula* Roth.) в зависимости от климатических условий и сезона года [Текст] / Г.Н. Черняева, С.Я. Долгодворова, С.М. Бондаренко, Г.В. Шиляева // Химия древесины. – 1984. – № 5. – С. 82–84.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 11.04.07

*R.I. Vinokurova, I.Yu. Troshkova*  
Mari State Technical University

---

---

**Variability of Betulin and Suberin Accumulation in Birch Bark of *Betula Pendula* Roth Depending on Geographical Zoning**

The variability of betulin and suberin content in the birch bark of *Betula pendula* Roth growing in different conditions of Eastern-European plain is analyzed. The mathematical calculation model is provided.

Keywords: intraspecific variation, extractive substances, birch bark, betulin, suberin, geographic latitude, longitude, mathematical model.

---

---

УДК 547.992.3:542.943

***С.М. Крутов, И.В. Грибков, М.Я. Зарубин,  
А.В. Пранович, В.С. Султанов***

Крутов Степан Минаевич в 1966 г. окончил Ленинградскую лесотехническую академию, профессор кафедры органической химии С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Имеет более 100 научных работ по различным направлениям химии древесины.



Грибков Иван Владимирович родился в 1981 г., окончил в 2004 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры органической химии СПбГЛТА. Имеет 10 работ в области химии лигнина.



Зарубин Михаил Яковлевич родился в 1930 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор химических наук, профессор, член международной академии лесных наук (IAWS), академик РАЕН, председатель совета экспертов по химии растительных ресурсов при ЮНЕСКО, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 300 печатных работ в различных областях химии древесины.



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛИЗНЫХ ЛИГНИНОВ МЕТОДОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ\***

Методом пиролизической хромато-масс-спектрометрии установлено, что химический состав продуктов пиролиза технических гидролизных лигнинов и лигнинов Вильштеттера во многом одинаков; показано, что главными компонентами, образующимися при пиролизе промышленных лигнинов, являются гваякол, метилгваякол, катехол, этилгваякол, винилгваякол и изоэвгенол.

*Ключевые слова:* гидролизный лигнин, пиролизическая хромато-масс-спектрометрия, химический состав продуктов пиролиза.

Как известно, гидролизный лигнин практически нерастворим ни в воде, ни в органических жидкостях, поэтому применение к его исследованию методов, не требующих перевода в раствор, представляет особый

---

\* Выражаем благодарность проф. Холбому (Centre of Excellence, Abo Akademi University) и Марку Реунанен (Centre of Excellence, Abo Akademi University) за помощь в проведении эксперимента и проф. Д.А. Пономареву (С.-Петербургская государственная лесотехническая академия) за консультации.

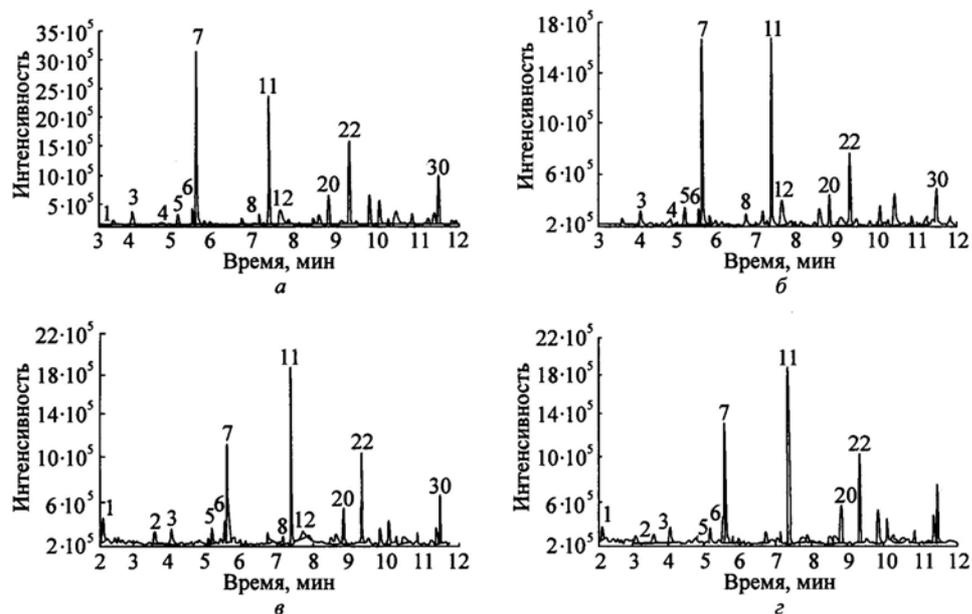


Рис. 1. Пирограммы исследуемых технических лигнинов: а – г – S1... S4

интерес. Одним из таких методов является метод пиролитической хромато-масс-спектрометрии, который в последние годы интенсивно развивается [4, 5]. Достоинствами этого метода в сравнении с другими являются непродолжительное время анализа, небольшое количество образца, необходимое для исследования. Кроме того, ПХМС не требует предварительной очистки или выделения лигнина [3].

В нашей работе были исследованы технические гидролизные лигнины, лигнины Вильштеттера, модельные соединения лигнина.

Образцы для анализа: S1 – лигнин Вильштеттера из еловых опилок; S2, S3 – технические гидролизные лигнины Тавдинского и Бобруйского заводов, проэкстрагированные спирто-толуолом (1/2) для удаления экстрактивных веществ; S4 – гидролизный лигнин, обработанный по Вильштеттеру сверхконцентрированной соляной кислотой.

Пиролиз всех образцов выполнен при температуре 650 °С на filament pulse Pyrolyzer Pyrolyzer (Pyrol AB, Lund, Sweden), хромато-масс-спектрометрия – на приборах HP 5890 GC (Hewlett-Packard Comp., USA) и HP 5970 quadrupole.

На рис. 1 представлены пирограммы продуктов деструкции исследуемых лигнинов (S1, S2, S3, S4).

Как видно из пирограмм (рис. 1), состав продуктов во многом схож.

В табл. 1 приведено относительное содержание основных компонентов в продуктах пиролиза исследуемых образцов лигнинов. Как видно

Таблица 1

## Главные компоненты продуктов пиролиза исследуемых образцов лигнинов

Номер образца	Компонент	Время удерживания	Содержание компонента, % от общего количества			
			S1	S2	S3	S4
1	Фурфурол	0,210	2,0	2,9	2,6	1,0
2	Бензальдегид	0,343	–	1,2	1,4	–
3	Фенол	0,389	3,4	2,9	2,3	4,4
4	2-Гидроксибензальдегид	0,458	0,5	0,6	0,7	1,0
5	Крезол*	0,496	2,9	1,7	2,4	2,6
6	Крезол*	0,530	3,8	2,6	2,8	4,7
7	Гваякол	0,540	9,7	25,8	22,4	15,3
8	Ксиленол	0,643	1,2	0,8	1,3	1,4
9	Метилгваякол*	0,684	0,6	1,2	1,2	1,0
10	Метилгваякол *	0,694	0,3	0,3	–	0,2
11	Метилгваякол *	0,708	17,1	14,2	17,9	18,1
12	Катехол	0,733	6,4	5,4	7,1	0,9
13	2,3-Дигидробензофуран	0,754	1,9	0,9	0,5	2,1
14	3-Метоксифенол	0,762	0,9	–	0,5	0,7
15	4-Винилфенол	–	–	–	–	–
16	Метилвератрол	0,777	0,5	0,3	0,4	0,4
17	2-Этил-6-метилфенол	0,786	0,6	0,2	0,2	0,4
18	3-Метоксикатехол	0,809	2,1	1,4	0,7	2,2
19	3-Метилкатехол	0,823	2,6	2,3	2,8	2,8
20	Этилгваякол	0,844	3,9	3,3	3,5	4,4
21	4-Метил-1,2-бенздиол	0,876	0,4	1,2	3,0	0,2
22	Винилгваякол	0,894	9,0	8,6	6,8	9,0
23	Сирингол	0,940	2,6	4,0	0,5	6,1
24	Эвгенол	0,964	2,2	2,5	2,2	2,6
25	Дигидроэвгенол	0,982	0,9	0,7	0,7	0,9
26	Ванилин	1,000	1,4	5,4	6,8	0,0
27	4-Пропен-1-ил-гваякол	1,037	1,1	1,2	1,0	1,5
28	4-Гидрокси-ацетофенон	1,075	1,2	1,6	2,5	1,0
29	4-Гидрокси-3-метокси-бензойная кислота	1,088	2,8	2,7	1,3	5,3
30	Изоэвгенол	1,098	4,6	5,0	3,6	5,8

\*Изомеры

из табл. 1, преобладающими компонентами являются гваякол (7), метилгваякол (11), катехол (12), этилгваякол (20), винилгваякол (22) и изоэвгенол (30). Их содержание составляет около 55 % от общего количества всех компонентов продуктов пиролиза.

В табл. 2 представлены масс-спектры некоторых основных компонентов в продуктах пиролиза образцов лигнинов (номер масс-спектра соответствует номеру компонента в табл. 1).



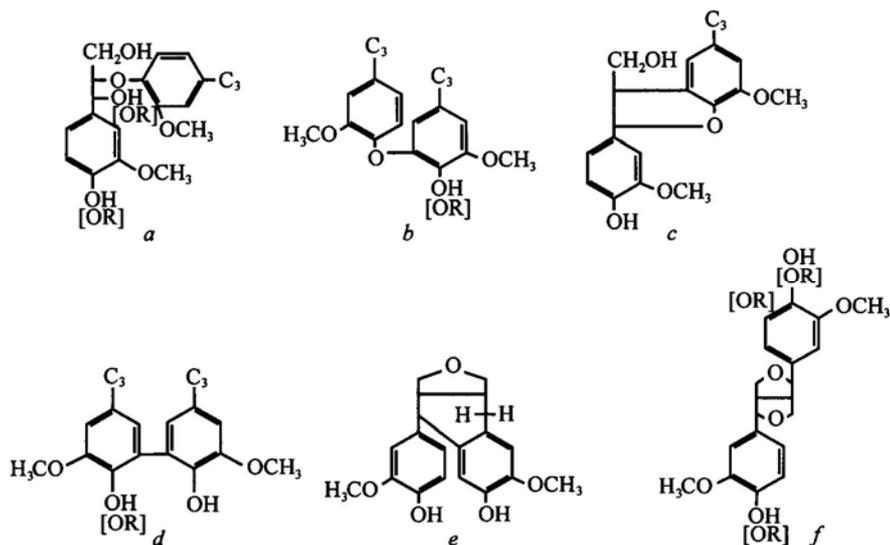


Рис. 2. Структурные фрагменты природных хвойных лигнинов

Исходя из литературных данных о строении хвойных лигнинов, можно предположить вероятные структуры, из которых могло происходить образование основных компонентов пиролиза исследуемых лигнинов (рис. 2).

Гваякол, являясь основным компонентом продуктов пиролиза для образцов S2 и S3, составляет в среднем 24 % от общего количества продуктов пиролиза. Причем для S2 содержание этого компонента заметно превышает содержание остальных компонентов в продуктах пиролиза. Этот факт может быть связан с преобладанием соответствующих структур в строении S2 по сравнению со структурами остальных образцов. Образование гваякола можно ожидать из структур *a*, *c*, *e*, *f* (рис. 2). Для образца S4 содержание гваякола заметно снижается и составляет около 15 % от общего количества продуктов пиролиза. Образец S1 дал наименьший выход гваякола в продуктах пиролиза – около 9 %.

Вероятно, это связано с тем, что при обработке лигнина по методике Вильштеттера происходят более глубокие конденсационные процессы, чем в техническом гидролизном лигнине в ходе гидролиза древесного сырья. Данное предположение согласуется с меньшей проникающей способностью оксониевого иона (образующегося в концентрированном растворе HCl при обработке Вильштеттера) по отношению к протониевому иону.

Более высокое содержание фенола [2], а также более низкое содержание 2-метокси-6-метилфенола (данный компонент найден в продуктах пиролиза конденсированных модельных соединений 5 и 6) в образцах S1 и S4 по сравнению с S2 и S3 может, однако, опровергать сделанный вывод или указывать на то, что конденсация (степень конденсации) лигнинов Вильштеттера не носит ярко выраженный характер.

Относительное содержание 2-метокси-4-метилфенола (метилгваякол – 11 в табл. 1) для образцов S1, S2, S3 и S4 примерно одинаково и составляет около 17 %. Следует отметить, что данный компонент является преобладающим для S1 и S4. Образование 2-метокси-4-метилфенола может происходить из структур *a*, *c* (рис. 2). Если предположение об относительно большей степени конденсации структуры лигнинов для образцов S1 и S4 по сравнению с образцами S2 и S3 было верно, то увеличение выхода метилгваякола по отношению к гваяколу, характерное для обоих образцов лигнина Вильштеттера, должно быть связано с перестройкой в их структуре, вызванной обработкой по Вильштеттеру.

Следующим значительным компонентом продуктов пиролиза образцов S1 – S4 является винилгваякол (22 в табл. 1). Его содержание в образцах S1, S2, S4 составляет около 9 %. В образце S3 содержится меньше винилгваякола (~7 %) по сравнению с остальными образцами.

Содержание катехола (12 в табл. 1) в продуктах пиролиза образцов S1, S2, S3 около 6 %, а в S4 его в 6 раз меньше (~1 %).

Изоэвгенола (30 в табл. 1) в продуктах пиролиза всех образцов содержится приблизительно равное количество (~4 %). Образование изоэвгенола можно связать со структурами *a*, *c*, *f*, *e*. Необходимо отметить, что в продуктах пиролиза присутствует фенол, наличие которого также является признаком наличия малоcondensированных лигнинов [2].

В целом в продуктах пиролиза образцов S1–S4 значительную долю представляют гваякол и его производные (9–11, 20, 22, 24–27, 30). Их общее содержание в образцах S1–S4 составляет в среднем 60,0 % (S1 – 50,8 %, S2 – 68,2 %, S3 – 66,1 %, S4 – 58,8 %); содержание катехола и его производных (18, 19) – 9,0 %.

Преимущественное образование метилгваякола и изоэвгенола указывает на то, что исследуемые образцы принадлежат к хвойным лигнинам, фенолпропановые единицы которых построены главным образом из гваяцильных структурных единиц.

С большой вероятностью образование низкомолекулярных продуктов связано с расщеплением  $\alpha$ -,  $\beta$ - (гваякол, этилгваякол) и  $\gamma$ - (винилгваякол, этилгваякол) углеродных связей, наличие изоэвгенола и эвгенола – с присутствием в структуре лигнина пинорезинольных и дегидрокумарановых структур.

Наши исследования указывают на возможность присутствия в гидролизном лигнине углеводных комплексов, прочно связанных с лигнином. Методом ИК-спектроскопии установлено, что в ходе обработки гидролизованного лигнина сверхконцентрированной соляной кислотой (обработка по Вильштеттеру) происходит значительное уменьшение содержания углеводных компонентов. Однако присутствие фурфурола в продуктах пиролиза лигнина Вильштеттера (S4) указывает на наличие остаточных углеводов в образце. Данный вывод подтвержден анализом и химическими методами. При этом вопрос о наличии химических связей между лигнином и некоторой частью углеводных компонентов остается открытым.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Оболенская, А.В.* Химия древесины и синтетических полимеров [Текст]: учеб. для вузов / А.В. Оболенская, В.И. Азаров, А.В. Буров. – СПбГЛТА, 1999. – С. 386–387, 405.
2. *Пономарев, Д.А.* Аналитический пиролиз лигнина и углеводов [Текст] / Д.А. Пономарев, С. Шергина // Химия древесины. — 1990. – Вып. 3. – С. 3–11.
3. *Angelis, F.* Mass spectrometry in the biosynthetic and structural investigation of lignins [Text] / F. Angelis, S. Reale, A. Tukio, N. Spreti // Mass Spectrometry Reviews. – 2004. – N 23. – P. 87–126.
4. *Faix, O.* Thermal degradation products of wood [Text] / O. Faix, D. Meier, I. Formann // Holz als Roh- und Werkstoff. – 1990. – N 48. – P. 281–285.
5. *Krutov, S.* Investigation of technical hydrolysis lignin and Products of its alkaline treatment [Text] / S. Krutov, I. Gribkov, E. Windeisen, G. Wegener // EWLP. – 2006, N 9.

СПБГЛТА

Университет Або академии  
(Финляндия)  
Компания «Солагран» (Австралия)

Поступила 08.05.07

*S.M. Krutov I.V. Gribkov, M.Ya. Zarubin, A.V. Pranovich, V.S. Sultanov*  
Saint-Petersburg Forest-Technical Academy  
University Abo Academy, Finland

### **Investigation of Hydrolysis Lignins by Method of Pyrolysis Chromato-mass-spectrometry**

It is established by method of pyrolysis chromato-mass-spectrometry that chemical composition of pyrolysis products of technical hydrolysis lignins and lignins of Wilschetter are similar in many aspects. It is shown that the main components formed under pyrolysis of industrial lignins are guaiacol, methyl guaiacol, ethyl guaiacol, vinyl guaiacol and iso-eugenol.

Keywords: hydrolysis lignin, pyrolysis chromato-mass-spectrometry, chemical composition of pyrolysis products.

---



## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 621.311:631.783.2

***С.В. Карпов, В.В. Радюшин, Э.Н. Сабуров, Г.А. Шепель***

Карпов Сергей Васильевич родился в 1945 г., окончил в 1967 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники Архангельского государственного технического университета. Имеет более 200 научных трудов в области исследования теплофизических основ работы циклонных устройств различного технологического назначения.



Радюшин Вячеслав Витальевич родился в 1970 г., окончил в 1992 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и энергетических систем Архангельского государственного технического университета. Имеет около 30 печатных работ в области исследования аэродинамики и сепарационной эффективности электроциклонных устройств.



Сабуров Эдуард Николаевич родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники, проректор по научной работе Архангельского государственного технического университета, академик Российской и Международной инженерных академий, Российской академии естественных наук, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 600 публикаций в области аэродинамики и конвективного теплообмена в сильно закрученных потоках, их использования для интенсификации процессов теплообмена в аппаратах различного технологического назначения.

**СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
И ВРЕДНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ  
ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА**

Обобщены результаты исследований, направленных на оптимизацию систем электроснабжения лесоперерабатывающих предприятий, повышение эффективности очистки газовых промышленных выбросов от пыли и аэрозолей с помощью циклонных и электроциклонных сепарационных устройств; даны рекомендации по выбору оптимальных конструктивных и режимных характеристик, обеспечивающих снижение выбросов вредных веществ в атмосферу.

*Ключевые слова:* лесоперерабатывающий комплекс, качество электроснабжения, реактивная мощность, потери электроэнергии, промышленные выбросы, циклонные пыле-каплеуловители, электроциклонирование, эффективность очистки, энергоэкологоэкономическая оптимизация.

На экономичность работы предприятий лесоперерабатывающего комплекса влияют особенности их электрических нагрузок. Территориальная рассредоточенность электроприемников, сравнительно небольшая плотность нагрузки, устаревшее и изношенное энергетическое оборудование, недостаточное оснащение установок средствами компенсации реактивной мощности приводят к относительному росту потерь энергии. Существенное превышение реактивной мощности над активной снижает пропускную способность всех элементов системы электроснабжения, ухудшает качество электроэнергии. Для предприятий деревопереработки характерна значительная неравномерность электропотребления. Электрические распределительные сети имеют значительную протяженность и разветвленность. В целях снижения потерь электроэнергии особое внимание следует уделять выбору типа, мощности и режима работы понижающих трансформаторов цеховых подстанций [1, 6, 7].

На Архангельском ЦБК, Соломбальском ЛДК и ЛДК-4 (г. Архангельск) проведены исследования, направленные на оптимизацию элементов систем электроснабжения, снижение потерь, возникающих при передаче электроэнергии во внутривозовских сетях. Исходными данными служили характеристики графиков активной, реактивной и полной нагрузок трансформаторов цеховых подстанций и отдельных мощных потребителей – коэффициенты заполнения суточного графика (отношение среднесуточной нагрузки к максимальной) и неравномерности графика (отношение минимальной нагрузки к максимальной). Значения этих коэффициентов лежат в пределах 0,60 ... 0,90. Однако в отдельных случаях этот диапазон значительно расширен за счет уменьшения коэффициентов. Например, на АЦБК для трансформатора Т-2 п/ст. 12 (ПХВО) коэффициент заполнения – 0,36, а для Т-3 – 0,48. Это говорит о необходимости определения оптимальной нагрузки трансформаторов и экономически выгодных зон их загрузки [6].

С помощью графика нагрузок определены коэффициенты, характеризующие уровень реактивной нагрузки. Например, нагрузка на РП-20 АЦБК имеет  $\cos \varphi_m = 0,71$ , чему соответствует  $\operatorname{tg} \varphi_m = 0,70$ , в то время как нормированный  $\operatorname{tg} \varphi$  имеет более низкое значение; на ЛДК-4 уровень реактивной мощности по отношению к активной составляет 115 % ( $\cos \varphi = 0,65$  и  $\operatorname{tg} \varphi = 1,15$ ). Это свидетельствует о необходимости проведения работ по оптимизации режимов реактивной нагрузки и компенсации реактивной мощности в сетях электроснабжения предприятий [6].

Энергетические и экономические показатели трансформаторов, установленных на АЦБК (мощность потерь холостого хода и короткого замыкания, напряжение короткого замыкания, ток холостого хода, стоимость трансформаторов), различны. Это осложняет анализ экономически выгодных зон загрузки и определение оптимальных нагрузок.

Полная установленная мощность трансформаторов цеховых подстанций составляет примерно 290 МВ·А, максимальная полная потребляемая комбинатом мощность (при условии  $\varphi = 0,50$  и  $\cos \varphi = 0,90$ ) – около

160 МВ·А [3]. При таких показателях средний коэффициент загрузки трансформаторов равен 0,575, что ниже нормативного (0,700), принимаемого в расчетах.

Разработаны рекомендации по замене двух установленных на АЦБК трансформаторов. Расчетные годовые потери в них составляют 7031374 кВт·ч. Замена на трансформаторы меньшей мощности при реконструкции ТП № 5 способствовала снижению годовых потерь на 1229220 кВт·ч. Это реальная экономия электроэнергии, которую можно получить, не считая полученной от снижения платы за основные фонды [6].

Следует отметить высокий уровень реактивной мощности в графиках нагрузки трансформаторов. Цех ДСП ЛДК-4 потребляет реактивную мощность, равную 110 ... 120 % от активной нагрузки. Компенсация реактивной мощности в период максимума нагрузки составляет примерно 0,25 кВ·Ар/кВт, что значительно меньше экономически целесообразной компенсации, равной 0,60 кВ·Ар/кВт. Передача реактивной мощности приводит к возрастанию тока во всех элементах системы «источник–потребитель», что ведет к увеличению потерь мощности на нагрев токопроводов, появлению дополнительных потерь напряжения, нагрузке реактивной мощностью элементов электроснабжения. Это требует дополнительных затрат, направленных на увеличение пропускной способности сети, и приводит к увеличению числа элементов сети и их мощности. Для снижения потребляемой реактивной мощности и уменьшения потерь электроэнергии целесообразно снизить продолжительность работы электродвигателей на холостом ходу, заменить электродвигатели с коэффициентом загрузки менее 0,45 на электродвигатели меньшей по номиналу мощности, снизить напряжение электродвигателей, систематически работающих на малой нагрузке, производить регулирование напряжения на трансформаторах подстанций, чтобы напряжение электродвигателя соответствовало норме [6].

В целях повышения эффективности очистки газовых промышленных выбросов от аэрозолей и вредных соединений выполнены исследования аэродинамических, сепарационных и теплообменных характеристик циклонных аппаратов при варьировании в широких пределах основных безразмерных геометрических и режимных параметров [2, 4, 5].

Получено расчетное выражение для безразмерного диаметра частиц  $\bar{d}_{50} = d_{50}/D_k$ , улавливаемых с эффективностью 50 %:

$$\bar{d}_{50} = 1,5 \sqrt{\frac{\bar{f}_{вх}}{\text{Re}_{вх} \bar{w}_{\phi m}^2 (\bar{L}_k^p - \bar{L}_{вых}^n)} \frac{1}{\bar{\rho}_ч - 1} \left[ 1 - \frac{8}{3} \text{Re}_{вх} \text{Ko}_3 \frac{\bar{L}_k^p - \bar{L}_{вых}^n}{\eta_k} \bar{d}_{ам} \right]}, \quad (1)$$

где  $\bar{f}_{вх} = 4f_{вх} / \pi D_k^2$  – безразмерная площадь входа;

$D_k = 2R_k$  – диаметр рабочего объема циклона;

$\text{Re}_{вх} = v_{вх} D_k / \nu_{вх}$  – входное число Рейнольдса;

$v_{вх}, \nu_{вх}$  – скорость и кинематический коэффициент вязкости во входном канале;

$\bar{w}_{\phi m} = w_{\phi m} / v_{\text{вх}}$  – безразмерная максимальная тангенциальная скорость в рабочем объеме;

$\bar{L}_k^p = L_k^p / D_k$  – относительная расчетная длина циклона;

$\bar{l}_{\text{вых}}^n = l_{\text{вых}}^n / D_k$  – относительная длина погружной части выходного канала;

$\bar{\rho}_q = \rho_q / \rho_{\text{вх}}$  – относительная плотность частиц ( $\rho_{\text{вх}}$  – плотность газа во входном канале);

$K_{\text{оэ}}$  – безразмерный комплекс, характеризующий соотношение сил, вызванных ионизацией, действием электростатического поля, электрического ветра и сил инерции потока,

$$K_{\text{оэ}} = \varepsilon_0 \varepsilon_q k_{\text{э.в}} \frac{U_{\text{ц}}^2 + k_{\text{э.в}} U_{\text{и}} U_{\text{ц}}}{D_k^2 \left( \ln \frac{1}{\bar{d}_b} \right)^2} \left( \frac{1}{\rho_{\text{вх}} v_{\text{вх}}^2 / 2} \right); \quad (2)$$

$\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума;

$\varepsilon_q$  – относительная диэлектрическая проницаемость частиц;

$k_{\text{э.в}}$  – коэффициент, отражающий влияние электрического ветра на эффективность очистки газов в циклоне,  $k_{\text{э.в}} \approx 0,2$ ;

$U_{\text{и}}, U_{\text{ц}}$  – напряжения на ионизаторе и осадительном электроде;

$\bar{d}_b = d_b / D_k$  – безразмерный диаметр вставки-электрода;

$\bar{d}_{\text{чм}} = d_{\text{чм}} / D_k$  – безразмерный средний диаметр частиц;

$\eta_k = R_k / r_{\phi m}$  – безразмерный радиус рабочего объема циклона;

$r_{\phi m}$  – радиус положения  $w_{\phi m}$  [4].

На циклонном каплеуловителе с оптимизированными геометрическими и режимными характеристиками выполнены исследования эффективности очистки газов при одновременном действии инерционного и электрического полей. Предварительная ионизация воздушного потока и действие на улавливаемые частицы в рабочем объеме аппарата электрического поля позволили достигнуть увеличения эффективности очистки воздуха.

Оптимальная входная скорость потока в электроциклоне зависит от напряжений на электроде и ионизаторе и вида аэрозолей. Полученные экспериментальные данные позволили рекомендовать для выбора  $v_{\text{вх}}^{\text{opt}}$  степенную зависимость вида

$$v_{\text{вх}}^{\text{opt}} = a + bU + cU^2 + dU^3, \quad (3)$$

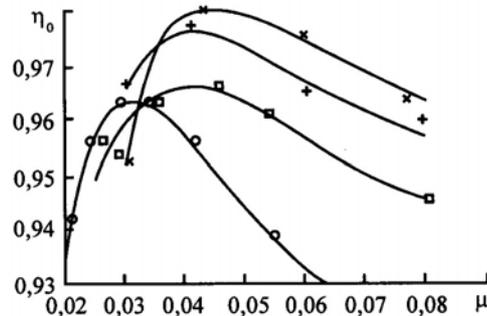
где  $a = 16,088$ ;  $b = -0,6827$ ;  $c = 0,151$ ;  $d = -0,00905$  – для воды;

$a = 16,133$ ;  $b = -0,5721$ ;  $c = 0,233$ ;  $d = -0,01776$  – для смазочно-охлаждающей жидкости.

Влияние питающего напряжения на эффективность каплеулавливания можно представить аппроксимирующим уравнением

$$K_U = 1 + aU_{\text{ц}} + bU_{\text{ц}}^2, \quad (4)$$

Рис. 1. Влияние массовой концентрации взвеси  $\mu$  на полный коэффициент очистки газов от капель влаги  $\eta_0$  при различных значениях относительной длины цилиндрической части циклона: 1 –  $\bar{l}_{\text{ц}} = 0,5$ ; 2 – 1,0; 3 – 2,0; 4 – 3,0



где  $K_U = (\eta_0)_U / (\eta_0)_{U=0}$ ;

$\eta_0$  – полный коэффициент очистки газов;

$a = 0,006415$ ;  $b = -0,000335$  – для воды;

$a = 0,00447$ ;  $b = -0,00016$  – для смазочно-охлаждающей жидкости.

С повышением массового содержания капель жидкости на входе в циклонное сепарационное устройство до определенного значения эффективность очистки газов повышается (рис. 1), достигая максимума при  $\mu = \mu_{\text{opt}}$ , после чего начинает снижаться. Оптимальное значение  $\mu$  повышается с ростом относительной длины цилиндрической части циклона  $\bar{l}_{\text{ц}} = l_{\text{ц}}/D_{\text{к}}$  и может быть определено по эмпирической формуле

$$\mu_{\text{opt}} = 0,036 \bar{l}_{\text{ц}}. \quad (5)$$

Методика расчета эффективности электроциклонных установок, учитывающая совместное влияние  $U_{\text{н}}$  и  $U_{\text{ц}}$ , обеспечивает удовлетворительное количественное и качественное соответствие расчетных и опытных значений для различных аэрозолей [2, 5].

Диаметр вставки-электрода является одним из основных геометрических параметров циклонных сепарационных устройств. При правильном выборе диаметра вставки можно повысить аэродинамическое совершенство и эффективность очистки газов в циклоне. Полученные в результате выполненных исследований данные показали, что с увеличением  $\bar{d}_{\text{в}}$  коэффициент очистки  $\eta_0$  растет, достигая максимума при  $(\bar{d}_{\text{в}})_{\text{opt}}$ , после чего снижается. Оптимальное, с точки зрения аэродинамической и энерготехнологической эффективности, значение  $\bar{d}_{\text{в}}$  можно определить по формуле

$$(\bar{d}_{\text{в}})_{\text{opt}} = (\bar{d}_{\text{вых}} - 1,4)(0,212 - 0,84 \bar{f}_{\text{вх}}^{1,1}), \quad (6)$$

где  $\bar{d}_{\text{вых}} = d_{\text{вых}} / D_{\text{к}}$  – безразмерный диаметр выходного канала.

В качестве безразмерного комплекса, учитывающего влияние геометрических и режимных параметров на энерготехнологическую эффективность циклонных устройств, в которых основной теплообменной поверхностью является боковая поверхность рабочего объема, может служить безразмерный комплекс

$$K_{\text{эф}} = \frac{\text{Nu} \eta_0}{\text{Re}_{\text{вх}}^n \zeta_{\text{фм}}} = \frac{\text{Nu} \Phi' \left[ \frac{\lg(\bar{d}_{\text{чм}} / \bar{d}_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\text{ц}} + \lg^2 \sigma_{\text{п}}}} \right] \bar{w}_{\text{фм}}^2}{\text{Re}_{\text{вх}}^n \zeta_{\text{вх}}}, \quad (7)$$

- где  $\text{Nu}$  – число Нуссельта;  
 $n$  – показатель степени в расчетном уравнении подобия конвективного теплообмена;  
 $\zeta_{\text{фм}} = \zeta_{\text{вх}} / \bar{w}_{\text{фм}}^2$  – коэффициент аэродинамической эффективности циклона [3, 4];  
 $\zeta_{\text{вх}}$  – суммарный коэффициент сопротивления устройства по входу;  
 $\Phi'$  – интеграл вероятности;  
 $\sigma_{\text{ц}}$  – параметр распределения фракционных коэффициентов очистки;  
 $\sigma_{\text{п}}$  – параметр распределения частиц пыли.

Максимальный уровень коэффициента энерготехнологической эффективности достигается при очень больших значениях  $\bar{f}_{\text{вх}} = 0,4 \dots 0,5$  и обычных для высокоэффективных циклонных сепараторов значениях  $\bar{d}_{\text{вых}} = 0,38 \dots 0,43$  [4]. Выбор оптимального с энерготехнологической точки зрения безразмерного диаметра выходного канала (при заданной величине  $\bar{f}_{\text{вх}}$ ) соответствует существованию экстремума функции  $K_{\text{эф}} = K_{\text{эф}}(\bar{d}_{\text{вых}}, \bar{f}_{\text{вх}})$ :

$$\left( \partial K_{\text{эф}} / \partial \bar{d}_{\text{вых}} \right)_{\bar{f}_{\text{вх}}} = 0. \quad (8)$$

Энерготехнологическая эффективность циклона практически не зависит ни от конструкции, ни от диаметра пустотелого коронирующего электрода при  $0,268 < \bar{d}_{\text{в}} < 0,821$  [2, 4, 5].

В результате расчетного анализа влияния конструктивных и технологических параметров на удельные затраты по очистке газов, выполненного с применением метода энергоэкологоэкономической оптимизации, получены формулы для определения оптимальных конструктивных и режимных характеристик, обеспечивающих снижение выбросов вредных веществ в атмосферу [2, 4, 5]. Влияние безразмерной длины цилиндрической части циклонного устройства  $\bar{l}_{\text{ц}} = l_{\text{ц}} / D_{\text{к}}$  на удельную стоимость очистки газов  $C_{\text{о}}$ , приведенное на рис. 2, показывает, что оптимальные значения  $\bar{l}_{\text{ц}}$  находятся в пределах  $2,5 \dots 3,5$ . С увеличением  $\bar{d}_{\text{вых}}$  от 0,1 до 0,6 удельная стоимость платы за выбросы в атмосферу  $C_{\text{в}}$  увеличивается (рис. 3), причем более значительно при  $\bar{d}_{\text{вых}} > \bar{d}_{\text{вых}}^{\text{opt}}$ . Интенсивность роста  $C_{\text{в}}$  повышается с увеличением площади входа  $\bar{f}_{\text{вх}}$ . В диапазоне  $\bar{f}_{\text{вх}} = 0,05 \dots 0,50$  кривые  $C_{\text{в}} = C_{\text{в}}(\bar{d}_{\text{вых}})$  пересекаются при  $\bar{d}_{\text{вых}} \approx 0,45$ .

Относительная экономия средств за счет эффективного теплоиспользования может обеспечить значительное (на 60 ... 90 % и более) снижение стоимости очистки газовых и парогазовых выбросов. Оптимальные

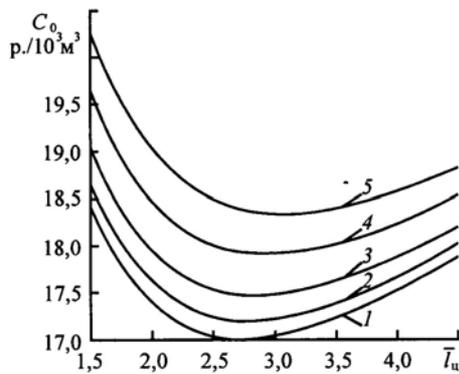


Рис. 2. Зависимость удельной стоимости очистки газов в циклонном сепарационном устройстве  $C_0$  от  $\bar{d}_{ц}$  при различной стоимости 1 кВт·ч потребляемой электроэнергии: 1 –  $\bar{C}_э = 0,5$  р./кВт·ч; 2 – 0,7; 3 – 1,0; 4 – 1,5; 5 – 2,0 р./кВт·ч

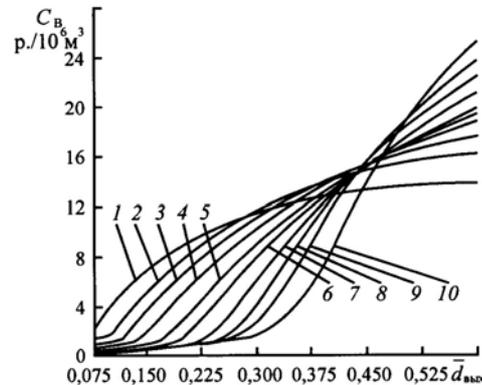


Рис. 3. Влияние  $\bar{d}_{вых}$  на плату за выбросы  $1 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup> газов из циклона при различных значениях  $\bar{f}_{вых}$ : 1 –  $\bar{f}_{вых} = 0,03$ ; 2 – 0,05; 3 – 0,07; 4 – 0,10; 5 – 0,15; 6 – 0,20; 7 – 0,30; 8 – 0,40; 9 – 0,50; 10 – 0,70

значения  $\bar{d}_{ц}$ ,  $\bar{f}_{вых}$  и  $\bar{d}_{вых}$ , определенные на основе критериев аэродинамической и энерготехнологической эффективности, могут быть скорректированы экологоэкономическими расчетами с учетом изменения тарифов на электрическую и тепловую энергию, стоимостных характеристик металла для изготовления циклонного аппарата, уловленного продукта и других факторов [4].

Использование комбинированных циклонных устройств с оптимальными геометрическими и режимными характеристиками позволяет снизить ущерб от загрязнения окружающей среды на 40 ... 70 % по сравнению со стандартными промышленными аппаратами и может способствовать решению экологических и энергетических проблем северных территорий. Таким образом, на основе экспериментальных и расчетных исследований разработаны рекомендации по снижению потерь электроэнергии в сетях предприятий деревообрабатывающего комплекса, которые приводят к уменьшению затрат электроэнергии на единицу продукции и снижению объемов вредных промышленных выбросов в окружающую среду [3, 4, 6]; выбору оптимальных геометрических параметров циклонных пыле- и каплеуловителей, учитывающих влияние основных конструктивных параметров и технико-экономических показателей на удельную стоимость очистки газа. Для увеличения эффективности очистки воздуха в циклоне предложено использовать предварительную ионизацию потока и создавать электрическое поле в рабочем объеме аппарата.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, С.П. Энергоснабжение предприятий лесоперерабатывающего комплекса [Текст] / С.П. Агеев, В.В. Радюшин, А.В. Ушаков, Г.А. Шепель // Оптимиза-

ция и интенсификация технологических процессов в энергетике и промышленности: сб. науч. тр. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. – С. 11–12.

2. *Карпов, С.В.* Высокоэффективные циклонные устройства для очистки и теплового использования газовых выбросов [Текст] / С.В. Карпов, Э.Н. Сабуров; под ред. Э.Н. Сабурова. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 504 с.

3. *Карпов, С.В.* Циклонный сепаратор-теплоуловитель / С.В. Карпов, В.В. Радюшин, Э.Н. Сабуров // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. / АГТУ. – 1997. – Вып. 2. – С. 63–71.

4. *Карпов, С.В.* Энерготехнологическая эффективность циклонного сепаратора-теплоутилизатора [Текст] / С.В. Карпов, В.В. Радюшин, Э.Н. Сабуров // Совершенствование техники и технологии лесозаготовок и транспорта леса: сб. науч. тр. ф-та природных ресурсов АГТУ. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – Вып. 2. – С. 111–118.

5. *Сабуров, Э.Н.* Разработка и исследование высокоэффективных циклонных сепараторов-теплоутилизаторов [Текст] / Э.Н. Сабуров, С.В. Карпов, В.В. Радюшин // Сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. «Экология и жизнь» (Пенза, 30–31 октября 2001 г.). – Пенза, 2001. – Ч. II. – С. 87–90.

6. *Шепель, Г.А.* Пути снижения потерь электроэнергии и выбросов электростанций предприятий лесоперерабатывающего комплекса [Текст] / Г.А. Шепель, И.И. Василишин, В.В. Радюшин // Лесн. журн. – 1997. – № 4. – С. 120–129. – (Изв. высш. учеб. заведений).

7. *Шепель, Г.А.* Рациональное использование электрической энергии [Текст] / Г.А. Шепель, С.П. Агеев, А.А. Шумилов // Проблемы энергетики Европейского Севера: тр. АГТУ. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1996. – С. 48–56.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 18.10.06

*S.V. Karpov, V.V. Radyushin, E.N. Saburov, G.A. Shepel*  
Arkhangelsk State Technical University

### **Reduction of Electric Power Loss and Hazardous Industrial Emissions at Woodworking Enterprises**

Results of investigations are summarized aimed at optimization of electric power supply systems of woodworking enterprises, increasing the treatment efficiency of gaseous industrial emissions from dust and aerosols with the help of cyclone and electro-cyclone separation devices; recommendations are provided regarding the selection of optimal design and mode characteristics ensuring the reduction of pollutant emissions into atmosphere.

Keywords: woodworking industry, quality of electric power supply, reactive power, electric power loss, industrial emissions, cyclone dust and drop catchers, electrocycloning, treatment efficiency, energy efficient optimization.

---



УДК 630\*81 (049.3)

*Н.А. Бабич, С.А. Корчагов*

### **СОВРЕМЕННЫЙ УЧЕБНИК ПРОФЕССОРА Б.Н. УГОЛЕВА\***

В деле подготовки высококвалифицированных специалистов лесного дела произошло заметное событие - вышло очередное издание ставшего уже классическим учебника по древесиноведению с основами лесного товароведения, подготовленное ведущим ученым-древесиноведом, профессором, доктором технических наук, заслуженным деятелем науки РФ, академиком Международной академии наук о древесине Борисом Наумовичем Уголевым.

Учебник предназначен для студентов, обучающихся по специальностям «Лесное дело», «Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств», «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», «Машины и оборудование лесного комплекса».

Основное содержание работы представлено в двух разделах - «Древесиноведение» и «Основы лесного товароведения», состоящих из 14 глав.

В первом разделе подробно изложены вопросы строения дерева, коры, химические, физические и механические свойства древесины, ее пороки, стойкость и защита древесины, приведено описание основных лесных пород и их использование. Как и в предшествующих изданиях, автором при написании использованы научно-обоснованные критерии и оценки, результаты исследований известных ученых, новые достижения в рассматриваемой области.

Раздел отличается полнотой материала, находится в соответствии с учебными программами по курсу «Древесиноведение».

Второй раздел освещает вопросы лесного товароведения. В нем рассмотрены классификация и стандартизация лесных товаров, круглые лесоматериалы, пиломатериалы, лущеные, строганные и композиционные материалы, модифицированная древесина.

Основные главы раздела существенно переработаны и дополнены. Большое внимание уделено новым, учитывающим мировую практику подходам к стандартизации и сертификации лесной продукции, что имеет большое значение при подготовке инженеров соответствующих специальностей на современном уровне.

Сохранив лучшее из предыдущих изданий, автор органично включил в учебник много нового материала и сделал его настольной книгой для специалистов лесного дела.

Архангельский государственный  
технический университет

Вологодская государственная  
молочно-хозяйственная академия

*N.A. Babich, S.A. Korchagov*

**Modern Textbook of Professor B.N. Ugolev**

*\*Уголев, Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение [Текст]: учеб. / Б.Н. Уголев. - М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. - 351 с.*