

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

6

2007

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Заместители главного редактора:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **А.С. Алексеев**, проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **А.А. Камусин**, акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **В.С. Куров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **Р.Н. Матвеева**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **М.Д. Мерзленко**, проф. **Е.Г. Мозолевская**, проф. **Е.Н. Наквасина**, доц. **О.А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **Д.А. Пономарев**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.Г. Санаев**, проф. **А.В. Селиховкин**, проф. **В.В. Сергеевичев**, проф. **В.А. Суслов**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **А.И. 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» № 6

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 26.12.2007. Подписан в печать 12.02.2008. Заказ № 29  
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>О.А. Неволин.</i> Славный юбилей летописи лесного дела (к 175-летию «Лесного журнала» и 50-летию серии «Известия высших учебных заведений».....	7
<b>ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО</b>	
<i>Б.В. Раевский, А.А. Мордась, А.А. Ильинов.</i> Изменчивость и взаимосвязь морфологических признаков и биометрических показателей семян сосны и ели.....	21
<i>А.И. Горобец, А.П. Максименко.</i> Результаты плантационного выращивания ивы в Краснодарском крае.....	36
<i>В.Г. Краснов, В.Ф. Краснова, И.А. Алексеев, А.С. Яковлев.</i> Санитарное состояние искусственных насаждений дуба черешчатого в Среднем Поволжье..	42
<i>В.П. Шлапак.</i> Фитомасса корней в культурах сосны в свежих суборях и судубравах.....	49
<i>Н.П. Братилова.</i> Влияние числа семян на рост 25-летнего кедра сибирского в плантационных культурах.....	54
<b>ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ</b>	
<i>Н.С. Иванова, П.М. Мазуркин.</i> Распределение деревьев березы на лесосеке по ступеням толщины и товарности.....	58
<i>В.П. Стуков.</i> Особенности строительства мостов на Европейском Севере.....	64
<i>К.П. Рукомойников.</i> Способ разработки лесосек.....	70
<b>МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ</b>	
<i>С.Б. Васильев, И.В. Симонова.</i> Влияние параметров дисковой рубительной машины на качество щепы.....	75
<i>Л.С. Суровцева, М.М. Царева.</i> Потери древесины при предварительной торцовке тонких досок.....	78
<i>И.Т. Глебов.</i> Расчет касательной силы резания древесины.....	83
<b>ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ</b>	
<i>В.И. Антонов, В. И. Ягодин.</i> Влияние способа обработки коры пихты сибирской на выход и качество продуктов.....	91
<i>С.А. Прокопьев, Ю.Н. Пильщиков, Ю.А. Молодцев, А.Я. Киповский, В.Н. Пьялкин.</i> О возможности получения бионефти из отходов древесного сырья. 95	
<i>Е.А. Шевнина, Д.Г. Чухчин, В.И. Комаров, О.М. Соколов.</i> Варианты применения в ЦБП деструктированной плазмохимическим методом древесины... 103	
<i>Н.В. Коряковская, В. К. Попов.</i> Применение теории фракталов для оценки структурной неоднородности бумажного полотна.....	109
<i>М.А. Агеев, А.И. Короткий.</i> Движение пузырька воздуха в волокнистой суспензии при флотации.....	114
<b>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</b>	
<i>Ю.Л. Леухин, Э.Н. Сабуров, И.А. Усачев, В. Гарен.</i> Влияние числа Рейнольдса на аэродинамику циклонной загруженной камеры.....	120

---

<i>В.К. Любов.</i> Исследование термомеханического разрушения частиц немолотого топлива.....	129
<i>КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ</i>	
<i>Б.Н. Уголев.</i> Всероссийская конференция и сессия РКСД в Красноярске.....	135
<i>ЮБИЛЕИ</i>	
<i>Коллектив Института биологии Коми НЦ УрО РАН.</i> Юбилей Геннадия Михайловича Козубова.....	138
Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2007 г. ....	140

---





## CONTENTS

- O.A. Nevolin.* Glorious Jubilee of Forest Chronicle (to 175<sup>th</sup> anniversary and 50<sup>th</sup> anniversary of the series «Proceedings of Higher Educational Institutions»).... 7

## FORESTRY

- B.V. Raevsky, A.A. Mordas, A.A. Iljinov.* Variability and Correlation of Morphological Characteristics and Biometric Indices for Scotch Pine and Norway Spruce Seedlings..... 21
- A.I. Gorobets, A. P. Maksimenko.* Results of Willow Plantation Growing in Krasnodar Krai..... 36
- V.G. Krasnov, V. F. Krasnova, I. A. Alekseev, A. S. Yakovlev.* Sanitary State of Artificial Stands of English Oak in Middle Povolzhje..... 42
- V.P. Shlapak.* Roots Phytomass in Pine Cultures in New Subors and Sudubravas..... 49
- N.P. Bratilova.* Influence of Cotyledon Number on Growth of 25-year Siberian Cedar in Plantation Cultures..... 54

## WOODEXPLOITATION

- N.S. Ivanova, P. M. Mazurkin.* Distribution of Birch Trees on Cutting Area according to Thickness Steps and Merchantability..... 58
- V.P. Stukov.* Peculiarities of Bridge Construction in the European North..... 64
- K.P. Rukomojnikov.* Way of Cutting Area Development..... 70

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

- S.B. Vasiljev, I.V. Simonova.* Influence of Disc Chipper Characteristics on Chip Quality..... 75
- L.S. Surovtseva, M.M. Tsareva.* Wood Loss under Preliminary Slat Trimming..... 78
- I.T. Glebov.* Calculation of Tangential Force in Wood Cutting..... 83

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- V.I. Antonov, V.I. Yagodin.* Impact of Siberian Fir Bark Treatment on Product Yield and Quality..... 91
- S.A. Prokopjev, Yu.N. Pilshchikov, Yu.A. Molodtsev, A.Ya. Kipovsky, V.N. Piyalkin.* On Possibility of Recovering Bio-oil from Wood Wastes..... 95
- E.A. Shevnina, D.G. Chukhchin, V.I. Komarov, O.M. Sokolov.* Variants of Applying Wood Destructed by Plasma-chemical Method in Pulp-and-paper Production 103
- N.V. Koryakovskaya, V. K. Popov.* Use of Fractal Theory for Assessment of Structural Irregularity of Paper Web..... 109
- M.A. Ageev, A.I. Korotky.* Motion of Air Bubble in Fiber Suspension under Flotation..... 114

## SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

- Yu.L. Leukhin, E. N. Saburov, I.A. Usachev, W. Garen.* Influence of Reynolds Number on Aerodynamics of Cyclone Loaded Chamber..... 120

---

---

V.K. Lyubov. Investigation of Thermomechanical Destruction of Solid Fuel Particles.....	129
-----------------------------------------------------------------------------------------	-----

*SCIENTIFIC AND LEARNED CONFERENCES*

B.N. Ugolev. All-Russia Conference and Session of Regional Coordination Council for Modern Problems of Wood Science in Krasnoyarsk.....	135
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

*JUBILEES*

Employees of Institute of Biology of Komi Scientific Centre of Ural Branch of Russian Academy of Sciences. Jubilee of Gennady M. Kozubov.....	138
Index of Articles Issued by «Lesnoi Zhurnal» in 2007.....	140

---

---

УДК 06.091

*О.А. Неволин*

**СЛАВНЫЙ ЮБИЛЕЙ ЛЕТОПИСИ ЛЕСНОГО ДЕЛА  
(к 175-летию «Лесного журнала»  
и 50-летию серии «Известия высших учебных заведений»)**

Историю нельзя изменить,  
у нее можно только учиться  
и бережно хранить.

История – это память. Память истории священна. И чем дальше отодвигает от нас время то или иное историческое событие, тем больший интерес оно вызывает у потомков – продолжателей славных дел и традиций, тем выше ценится опыт предшественников, тем зримее их былые труды, стремления и чаяния сделать свою Родину могущественнее, богаче и краше. И можно без преувеличения сказать, что в 30-е годы XIX в. произошли два знаменательных события для лесоводов России. 25 февраля 1832 г. императором Николаем I по докладу министра финансов Е.Ф. Канкрин, которому в то время подчинялся Лесной департамент, было учреждено Общество для поощрения лесного хозяйства, а 27 января 1833 г. Обществом было принято решение приступить к изданию первого периодического лесохозяйственного издания в России – «Лесного журнала» «...в том предположении, что сие доставит Обществу возможность содействовать владельцам к правильному устройству лесного хозяйства сообщением полезных сведений о лесных науках и новых по сей части открытий». Издание «Лесного журнала» стало одной из главных забот Общества.

Журнал состоял тогда из пяти разделов:

I. Лесохозяйственные науки: разведение лесов и деревьев; лесосохранение; лесная технология или лесопотребление; лесная таксация или лесовычисление; история лесоводства.

II. Вспомогательные науки: лесная ботаника; лесная химия; познание почв лесных; зоология, в особенности лесная энтомология; лесоизмерение; лесная география; лесная статистика и топографические описания лесов.

III. Литература лесных наук: разбор сочинений по лесной части; библиографические сведения и объявления о вновь выходящих сочинениях по лесоводству; биографии ученых и указания по лесным наукам; труды известнейших лесоводцев и сочинителей по лесной части.

IV. Достопримечательности природы, новейшие изыскания и наблюдения: описания необычных и редких естественных явлений; новейшие изобретения по лесной части; описание полезных лесных орудий, приборов и моделей.

V. Смесь: описание лесных заведений и учреждений; задачи по лесным предметам; статьи об охоте; лесные и охотничьи анекдоты...

Журнал освещал широкий круг вопросов лесоводства, лесоустройства, лесной таксации, ботаники, дендрологии, зоологии, почвоведения, энтомологии, подсочки леса, лесной статистики и географии, истории лесоводства и др. и выходил ежемесячно до 1845 г. Первым его редактором был Юханцев, затем – Ланге.

В марте 1845 г. Общество для поощрения лесного хозяйства было присоединено к Императорскому вольному экономическому обществу, лесное отделение которого издавало «Лесной журнал» до конца 1851 г. под руководством Арсеньева. В тот период задачи журнала несколько сузились: редакция считала целью «... распространить в отечестве понятие о рациональном лесном хозяйстве и возбудить желание к его изучению». В журнале были выделены четыре рубрики: 1) леса и лесоводство в России; 2) леса и лесоводство в иностранных государствах; 3) библиография; 4) смесь.

Видная роль в «Лесном журнале» того времени принадлежала В.С. Семенову – выдающемуся деятелю русской науки о лесе, преподавателю С.-Петербургского лесного института. За период с 1835 г. по 1846 г. он опубликовал 68 статей. Для специалистов по лесной таксации и лесоустройству до сих пор интересны его исторические исследования «Некоторые исторические сведения о лесной таксации и лесоустройстве до Гартига» (Лесн. журн. – 1841. – Ч. 3, кн. 3, № 9. – С. 290 – 342) и «Некоторые исторические сведения о методах таксации лесов от Гартига до новейшего времени» (Там же. – 1842. – Ч. 2, кн. 2, № 5. – С. 133–186).

Оригинальные работы талантливых русских лесоводов А.А. Длатовского, А.Е. Теплоухова и А.Р. Воргаса, напечатанные на страницах «Лесного журнала», вошли в сокровищницу науки о лесе.

Неизменный интерес лесоводов вызывает капитальный труд А.Е. Теплоухова «Некоторые сведения об учреждении правильного лесного хозяйства в имении С.В. Строгановой – Марьиной» (Там же. – 1841. – Ч. 2. – С. 205–277). А всего патриарх русского лесоводства опубликовал в «Лесном журнале» с 1840 г. по 1850 г. 19 интереснейших статей по различным вопросам лесного хозяйства. Печатаясь в последующие годы в «Трудах Вольного экономического общества», «Газете лесоводства и охоты», «Экономических записках», «Записках комитета лесоводства», «Пермских губернских ведомостях» и «Пермском сборнике», автор первого русского руководства по лесоводству (Устройство лесов в помещичьих имениях: руководство для управителей, лесничих и землемеров. – СПб., 1848) и «Исторического взгляда на лесохозяйство в Перм-



Проф. В.С. Семенов,  
преподаватель Лесного института

ском нераздельном имении гр. Строгановой» (Пермь, 1881) – книги замечательной и уникальной в то время – одну из последних своих работ доверил «Лесному журналу». Статья «Древесные растения, прозябающие в саду моем на открытом воздухе, в Ильинском селе, в долине р. Обвы Пермской губернии», содержащая полезные и для современных лесоводов и садоводов результаты долголетних тщательных наблюдений над местными и интродуцированными видами древесных растений, была напечатана на страницах «Лесного журнала» в год смерти выдающегося русского лесовода (1885. – № 3).

Большую значимость представляют исследования А.Р. Варгаса де Бедемара о запасах и приросте насаждений в С.-Петербургской, Тульской и Самарской губерниях. Их результаты нашли отражение на страницах «Лесного журнала».

Замечательна работа лесничего Н.Г. Мальгина «Некоторые сведения о ведении правильного лесного хозяйства в дачах Боткинских и Гороблагодатских заводов» (Лесн. журн. – 1841. – Ч. 3, кн. 2, № 8. – С. 159–241), в которой высоко оценивается значение первого русского лесоустроительного документа – «Инструкции об управлении лесною частью на горных заводах хребта Уральского по правилам лесной науки и доброго хозяйства» (СПб.: М-во финансов, 1830. – 175 с). О значительности этой работы говорит тот факт, что спустя полвека «Лесной журнал» опубликовал «Мнение Мальгина об устройстве лесной части на Урале» (1892. – Вып. 6. – С. 505–526.).

Постоянным сотрудником «Лесного журнала» был и Ф.К. Арнольд – секретарь лесного отделения Вольного экономического общества. К сожалению, маститый ученый, автор капитальных трудов «Русский лес» (1890, 1899) и «История лесоводства в России, Франции и Германии» (1895) оставил после себя лишь краткие упоминания о «Лесном журнале». Досадно также, что в «Истории лесоводства...» на с. 254, 334 и 363 он неверно указал год закрытия «Лесного журнала» – 1850, в связи с упразднением лесного отделения в Вольном экономическом обществе. На самом деле это печальное для русских лесоводов событие произошло в конце 1851 г. по злой воле не обеспокоенных судьбой лесов России чиновников, от которых зависела финансовая поддержка «Лесного журнала». Несмотря на все старания редакции журнала и лесной общественности, в конце 1851 г. вышел последний 12-й номер «Лесного журнала» объемом всего лишь 39 страниц.



Проф. Ф.К. Арнольд,  
преподаватель Лесного института

Журнал прекратил существование на два десятилетия. По словам Ф.К. Арнольда, «...лесоводство оставалось до 1855 года без особого посвященного ему специально органа печати. Недостаток этот был весьма чувствительным» (История лесоводства ... – С. 363).



Проф. Н.В. Шелгунов,  
преподаватель Лесного института

И вот неустанные хлопоты Ф.К. Арнольда, Н.В. Шелгунова, Н.М. Зобова и других лесоводов увенчались успехом: с 1 января 1855 г. стала издаваться «Газета лесоводства и охоты» с ежегодной субсидией Лесного департамента в 2500 р. Первым редактором и издателем этой газеты был Ф.К. Арнольд. С 1 января 1858 г. эти обязанности принял на себя Н.В. Шелгунов, впоследствии передавший их Шестакову. Затем газету редактировал Коноплин и после него Н.М. Зобов. «Газета лесоводства и охоты» оказалась достойной преемницей «Лесного журнала». Она выходила еженедельно по

субботам с приложением в конце каждого месяца особого сборника статей и книг. Очень привлекательны для лесоводов многочисленные яркие, талантливо написанные статьи Н.В. Шелгунова и Н.М. Зобова, обладавших энциклопедическими знаниями и беспредельно преданных лесному делу, глубоко обеспокоенных судьбой русских лесов.

Большой заслугой газеты явилось привлечение лесничих в качестве авторов статей и заметок. Обращаясь со страниц газеты к лесничим, Н.В. Шелгунов просил присылать замечания и наблюдения, сделанные ими в лесу. «Эти-то замечания, схваченные в лесу, а не извлеченные из немецких лесоводственных сочинений, не могут и не должны пропасть для науки», – писал Н.В. Шелгунов и утверждал, что «лесное дело нельзя отделять от жизни, лесоводство как отвлеченное знание не существует». Благодаря неустанной деятельности Н.В. Шелгунова и Н.М. Зобова «Газета лесоводства и охоты» в течение 5 лет верно служила русскому лесу, активно способствуя становлению и развитию отечественного лесоводства. Однако судьба ее оказалась такой же, как и судьба «Лесного журнала»: в 1859 г. вышел последний номер. Редактор газеты Н.М. Зобов в своей прощальной статье, обращенной к читателям, писал: ««Газета лесоводства» в той области знания, которая ей была отведена, появилась вследствие потребности современной мысли и в свою очередь имела влияние на развитие этой мысли; ... она постоянно ратовала против всего отживающего, но глубоко пустившего корни в русскую почву, против педантизма, рутины, слепого подражания стране



(Германии. – *О.Н.*), в которой условия совсем другие, нежели в нашем отечестве, против узких и своекорыстных побуждений... «Газета лесоводства», находясь, в сравнении с другими периодическими изданиями, в совершенно исключительном положении, умела сохранить свое достоинство: она никогда не служила исключительным органом какой-либо партии и никогда интересы, чуждые науке, не запятнали ее страниц... Редакция газеты берет на себя смелость искренно благодарить своих сотрудников, близких и далеких, знакомых лично и знакомых только по убеждениям, и сказать своим читателям, что если она не сделала всего, что было должно, то сделала все, что могла» (1859. – С. 624).



Проф. Н.М. Зобов,  
преподаватель Лесного института

В последующие 12 лет в России не было периодического лесного издания, а «... сообщения лесохозяйственные нашли себе приют в журнале Министерства государственных имуществ «Сельское хозяйство и лесоводство» (Арнольд, Ф.К. История лесоводства в России, Франции и Германии. – СПб., 1895. – 364 с.). Отдельные статьи по лесному делу печатались в «Трудах Вольного экономического общества», выходявших с 1766 г. по 1915 г. (280 томов), в журнале «Русское сельское хозяйство» и других, нередко далеких от лесной тематики. Все это делало материалы разрозненными и труднодоступными для лесных специалистов, большинство из которых работало в провинции, вдали от С.-Петербурга и Москвы. Потребность же во взаимном обмене опытом ведения лесного хозяйства, мыслями, новыми сведениями и достижениями в лесном деле у лесничих, лесовладельцев и лесопромышленников, разбросанных на необъятных просторах России, была очень велика. Об этом постоянно говорили еще со страниц «Газеты лесоводства и охоты» Н.В. Шелгунов, Н.М. Зобов и другие авторы.

Шло время. 2 марта 1871 г. Министерство государственных имуществ утвердило устав Петербургского лесного общества. Первым его председателем был избран В.С. Семенов, вице-инспектор корпуса лесничих, председатель Ученого комитета Министерства государственных имуществ, генерал корпуса лесничих. Общество возобновило издание «Лесного журнала», первый номер вышел в августе 1871 г. Тематика журнала охватывала все отрасли лесного хозяйства. В журнале были предусмотрены восемь разделов: 1) статьи по всем отраслям лесного хозяйства; 2) влияние законов и обычаев на успехи лесного хозяйства; 3) лесоторговый отдел; 4) лесохозяйственная библиография, разбор важнейших русских и иностранных сочинений по лесному хозяйству; 5) лесная хроника и смесь; 6) известия о дея-

тельности Лесного общества; 7) обзор вновь выходящих постановлений по Лесному управлению; 8) объявления, касающиеся предметов лесного хозяйства. Много внимания уделялось вопросам организации лесного опытного дела, развития степного лесоразведения, подготовки специалистов.

В разное время журнал редактировали Н.С. Шафранов, А.Ф. Рудзкий (1877–1880 гг.), Н.С. Нестеров, Л.И. Яшнов и другие видные лесоводы. Последним редактором старого «Лесного журнала» был с 1904 г. по 1918 г. Г.Ф. Морозов.

На страницах журнала выступали лесничие, лесоустроители, ученые. Обращают на себя внимание злободневные публикации П.И. Жудры (1875. – Вып. 4, 6) из серии «Вопросы дня», написанные ярко, талантливо, читае-



Проф. А.Ф. Рудзкий,  
преподаватель Лесного института

мые и сегодня с захватывающим интересом; замечательны работы Ф.К. Арнольда, А.Ф. Рудзкого, П.Н. Верехи, В.Т. Собичевского, Н.С. Шафранова, М.К. Турского, Д.М. Кравчинского, Д.Н. Кайгородова, М.М. Орлова и многих других талантливых лесоводов-практиков и ученых. Небезынтересно заметить, что А.Ф. Рудзкий подписывал свои очень живые, яркие критические статьи псевдонимом «Провинциал».

«Лесной журнал» сделал достоянием отечественного и мирового лесоводства труд архангельского таксатора Н.А. Гракова, который установил существование одновозрастных насаждений (Оборот хозяйства: По поводу исследования лесов Архангельской губернии // Лесн. журн. – 1896. – Вып. 2; 1897. – Вып. 3. – С. 419–447). Это открытие в корне изменило подход к выборочному хозяйству в лесах Севера и позволило лесоведам правильно решать сложные вопросы лесопользования.

Благодаря «Лесному журналу» вологодский лесоустроитель И.И. Гуртович явился первооткрывателем «хозяйственных типов насаждений». Его статья «Заметки северного лесничего», к которой и сегодня обращаются исследователи лесов Европейского Севера России, была опубликована в журнале за 1897 г. (Вып. 2. – С. 216–228; Вып. 5. – С. 789–799).

В 1902 г. на страницах «Лесного журнала» появилась обстоятельная работа Н.К. Генко «Характеристика Беловежской пуши и исторические о ней данные» (Вып. 5. – С. 1012–1056; Вып. 6. – С. 1269–1302). Самобытность его классификации типов насаждений, простота решения сложнейшего по тем временам вопроса о хозяйственном разделении лесов на естест-



венной основе заслуженно поставили Н.К. Генко в число первых лесотипологов России.

Одновременно с И.И. Гуторовичем и Н.К. Генко и независимо друг от друга над созданием классификаций хозяйственных типов насаждений работали другие лесоустроители и лесничие России. Среди них особо выделялся П.П. Серебренников из Вельского удельного округа, работы которого по лесной типологии и лесоустройству опубликованы в «Лесном журнале» (1904. – Вып. 1. – С. 69–93; Вып. 2. – С. 341–380 и др.).

Среди славных имен лесоустроителей, много сделавших по исследованию таежных лесов, чьи талантливые работы печатались в «Лесном журнале», нельзя не назвать имя Ф.Н. Флоровского. В вып. 2 за 1894 г. опубликована очень содержательная статья «К вопросу о хозяйстве в лесах Севера» за подписью «Один из лесничих Севера». Рассматривая широкий круг проблем северного лесного хозяйства, автор дает емкие характеристики лесных сообществ (типов насаждений. – *О.Н.*), наиболее часто встречающихся на Европейском Севере России, обращая особое внимание на их хозяйственное значение. Автором этой великолепной статьи, как об этом мы узнаем из публикации А.А. Битриха (Лесн. журн. – 1916. – Вып. 3-4. – С. 335–341), оказался Ф.Н. Флоровский. Несмотря на оригинальные и очень интересные выступления в печати, имя этого знатока северного лесного хозяйства не

было известно широкому кругу лесных деятелей, так как его разные псевдонимы знали лишь издатели.

Яркие страницы в историю «Лесного журнала» вписаны корифеем лесоводственной науки, редактором журнала Г.Ф. Морозовым. Под его влиянием постепенно изменилась идейная направленность журнала; стали публиковаться и обсуждаться социальные вопросы. Г.Ф. Морозов считал, что в «Лесном журнале» должны рассматриваться проблемы лесоведения и лесоводства, экономики и организации лесного хозяйства и его политики. По свидетельству В.Н. Сукачева, за 15 лет редакторской работы Г.Ф. Морозов поднял «Лесной журнал» на невиданную высоту (Георгий Федорович Морозов (к 100-



Проф. Г.Ф. Морозов,  
преподаватель Лесного Института

летию со дня рождения) 1867–1967 гг. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – С. 11).

В «Лесном журнале» морозовского периода мы находим множество интересных статей, не потерявших своего значения для науки и практики и сегодня, написанных лесничими, лесоустроителями, учеными-лесоведами. Среди плеяды талантливых авторов и северные лесоводы: П.П. Серебренни-

ков, А.С. Рожков, А.А. Битрих, Г.Г. Гулюшкин, М.Д. Успенский, С.Г. Нат, Э.И. Шабак, К.И. Егоров. Публиковались все материалы о деятельности Петербургского лесного общества, обзоры отечественной и иностранной лесной литературы, биографии и портреты видных лесоводов, прекрасные фотографии лесных видов, делавшие журнал еще более привлекательным.

Старый «Лесной журнал» – наше национальное достояние, летопись лесного дела, бесценная кладовая накопленных наукой и практикой знаний о лесе и лесном хозяйстве, замечательный печатный памятник творцам отечественного лесного хозяйства: ученым, лесничим, лесоустроителям – всем, кому была дорога судьба русского леса, кто понимал исключительно важное значение его для России.

Социалистическая революция 1917 г., новые веяния, коренная ломка жизни России, к сожалению, привели к постепенному свертыванию всех лесных органов периодической печати. Не избежал этой участи и «Лесной журнал», прекративший существование в конце 1918 г. Создавалась новая лесная периодика, которая стремительно развивалась. Достаточно сказать, что за период 1917–1927 гг. возникло 51 периодическое лесное издание, в том числе «Леса Республики», «Лесное дело», «Сельское и лесное хозяйство», «Лесная кооперация», «Лесопромышленное дело», «Лесное хозяйство», «Лесопромышленность и топливо», «Работник земли и леса», «Лесовод». С течением времени одни издания исчезали, другие появлялись.



Ф.И. Коперин

Под своим историческим названием журнал возрожден решением директивных органов и приказом Министерства высшего образования СССР от 31 июля 1957 г. № 787 как один из журналов серии «Известия высших учебных заведений». Честь издавать журнал была оказана Архангельскому лесотехническому институту, что стало убедительным подтверждением успехов лесной индустрии на Европейском Севере и единственного в регионе лесного вуза. В стенах АЛТИ – АГТУ журнал издается полвека. Первым ответственным редактором (1958–1966 гг.) стал ректор АЛТИ, профессор Ф.И. Коперин, заместителями доц. П.И. Войчаль (Архангельск) и проф. А.Э. Грубе (Ленинград). В состав редакционной коллегии вошли видные ученые лесных вузов страны: профессора И.С. Мелехов (Архангельск), Ф.М. Манжос (Москва), С.Я. Коротов (Ленинград), В.К. Захаров (Минск), М.Д. Данилов (Йошкар-Ола), Н.П. Вознесенский (Красноярск), доценты В.В. Щелкунов и Н.В. Никитин (Архангельск), С.И. Рахманов (Свердловск),

П.И. Войчаль и А.И.  
Кольцова за работой.  
1959 г.



председатель Архангельского совнархоза И.Е. Воронов. Ответственным секретарем редакции на протяжении 32 лет была А.И. Кольцова, на ее плечи легла огромная организационная работа. Первый номер журнала вышел в феврале 1958 г. и открывался рубрикой «От редакции», в которой П.И. Войчаль писал: «Наименование «Лесного журнала»... возлагает на нас большую ответственность и обязывает сделать журнал достойным носить имя его славного предшественника...»

Многое сделал для «Лесного журнала» его ответственный редактор, ректор Архангельского ЛТИ И.М. Боховкин (1967–1979 гг.) и тогдашний проректор по научной работе Н.В. Никитин, который был членом редколлегии треть века. Особо следует отметить заслуги И.С. Мелехова – ученого лесоведа с мировым именем, члена редколлегии со дня возрождения журнала до конца своей жизни и главного редактора «Лесного журнала» с 1980 г. по 1993 г. Более 31 года посвятил «Лесному журналу» П.И. Войчаль, – человек высокой культуры, беспредельно преданный профессии лесоведа, энциклопедист. 40 лет, с первого дня основания журнала, членом



И.М. Боховкин



Н.В. Никитин



И.С. Мелехов

редколлегии был В.В. Щелкунов – непревзойденный знаток в области сухопутного транспорта леса. В течение 26 лет активно работал в редколлегии Г.Л. Дранишников – высококлассный специалист по химической переработке древесины.

Сегодня учредителем «Лесного журнала» является Министерство образования и науки РФ, соучредителем и издателем – Архангельский государственный технический университет.

В 1993 г. журнал возглавил ректор, ныне президент АГТУ О.М. Соколов, доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, талантливый менеджер, сумевший в трудные годы перехода к рыночной экономике не только сохранить, но и придать новый облик журналу, расширить его тематику с учетом новых направлений науки.

Первым заместителем главного редактора с 2006 г. является ректор АГТУ, профессор А.Л. Невзоров. Заместители главного редактора профессора АГТУ Е.С. Романов и С.И. Морозов около четырех десятилетий отдают свой богатый опыт и разносторонние знания журналу. Широта их научного кругозора, увлеченность и ответственность обеспечивают престижность и востребованность журнала.

Состав редакционной коллегии со временем менялся. Ныне он представлен учеными из Москвы, С.-Петербурга, Екатеринбурга, Брянска, Красноярска, Петрозаводска, Йошкар-Олы, Архангельска, Львова (Украина) и Эмдена (Германия). Их имена уважаемый читатель всегда увидит на второй странице «Лесного журнала». Деятельность редколлегии обеспечивает высокий научный уровень публикуемых статей, во многом определяет формирование авторского коллектива и редакционного портфеля, включающего обзорные и проблемные статьи по наиболее актуальным вопросам лесопромышленного комплекса.

За 50 лет в портфель редакции поступило более 14 тысяч статей. Их география обширна и включает практически все регионы России, стран ближнего и дальнего зарубежья.

Авторский коллектив журнала: ученые, преподаватели вузов, инженерно-технические работники, аспиранты, молодые исследователи, начинающие свою научную карьеру.

Рецензенты, как правило, ведущие ученые высшей школы и научно-исследовательских институтов, работающие по профилю «Лесного журнала». В редакцию часто приходят письма от авторов, в которых они благодарят своих анонимных оппонентов за квалифицированную оценку статей.

Сохраняя добрые традиции своего знаменитого предшественника, его главную идею единства лесного дела и находясь на острие передовой науки и практики, современный журнал значительно расширил тематику и круг освещаемых проблем. «Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство и о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, информации о научной жизни высших учебных заведений, рекламные материалы и объявления. Предназначен для научных работ-

ников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей и студентов вузов.

«Лесной журнал» включает более 15 разделов и рубрик: лесное хозяйство; лесозаготовка; механическая обработка древесины и древесиноведение; химическая переработка древесины; экономика и организация производства; методика и практика преподавания; компьютеризация учебных и технологических процессов; краткие сообщения и обмен опытом; история науки; прочие материалы (научные конференции и совещания; критика и библиография; юбилеи; некрологи и др.). Ежегодно выходят в свет 6 номеров журнала по 9 печатных листов, примерно 160 статей в год. Журнал распространяется в разные регионы России и другие страны мира по каталогам ОАО Агентство «Роспечать», Агентства по зарубежным изданиям, «Международная книга «Периодика».

«Лесной журнал» известен далеко за пределами России, его читают и выписывают во многих странах мира. Журнал реферируется в трех информационных изданиях США: «Current Contents on Diskette»<sup>®</sup>, «Sci Search»<sup>®</sup>, «Current Contents Search»<sup>®</sup>, кроме того, в библиографических журналах: «Biological Abstracts» и др.

Новый и, по мнению лесных специалистов, весьма полезный опыт накоплен «Лесным журналом» в издании тематических номеров, посвященных важнейшим проблемам лесного хозяйства и лесопромышленного комплекса, юбилеям лесных вузов России. Это «Экологический выпуск» (№ 6, 1989); «Бореальные леса – проблема международная» (№ 4, 1992); Материалы исследований по Государственной научно-технической программе «Комплексное использование и воспроизводство древесного сырья» (№ 2-3, 1993; № 3, 1994; № 5-6, 1994; № 1-2, 1996; № 6, 1997; № 1, 1998); «75 лет Воронежской высшей школе лесоводов» (№ 4, 1994); Материалы Международного семинара «Особенности строительства автомобильных дорог на Европейском Севере» (№ 6, 1995); Материалы, посвященные 65-летию Уральской государственной лесотехнической академии (№ 4-5, 1996); Материалы, посвященные 90-летию Брянского опытного лесничества (№ 1-2, 1997); Материалы исследований по государственной инновационной научно-технической программе «Переработка растительного сырья и утилизация отходов» (№ 4, 1997), Материалы российско-норвежского семинара (№ 4, 1997); Материалы исследований по Государственной научно-технической программе России «Российский лес» (№ 5, 1997); Материалы, посвященные 40-летию Научно-исследовательского института химии и химической технологии древесины АГТУ (№ 2-3, 1998); Материалы, посвященные 70-летию Архангельского государственного технического университета (№ 2-3, 1999); Материалы Международной конференции «Экология таежных лесов» (№ 1, 2000); Материалы, посвященные 95-летию академика И.С. Мелехова (№ 4, 2000); Материалы, посвященные 70-летию Уральской государственной лесотехнической академии (№ 5-6, 2000); Выпуск, посвященный 290-летию М.В. Ломоносова (№ 3, 2001); Материалы, посвященные 70-летию Марийского государственного технического университета (№ 4,

2002); Материалы по ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники гражданского назначения», подпрограмме «Комплексное использование древесного сырья» (№ 4, 2000; № 2-3, 2003); Материалы, посвященные 75-летию Архангельского государственного технического университета (№ 3, 2004); Материалы, посвященные 75-летию Уральского государственного лесотехнического университета (№ 3, 2005); памяти академика И.С. Мелехова (к 100-летию со дня рождения) (№ 4, 2005); Брянской государственной инженерно-технологической академии 75 лет (№ 2, 2006).

Поддерживая постоянную тесную связь с лесными вузами, редколлегия журнала практикует выездные заседания и читательские конференции. Они успешно проведены во Львове, Москве, Воронеже, Екатеринбурге, Красноярске, Петрозаводске, Брянске, С.-Петербурге.

Говоря о совершенствовании издательского процесса, нельзя не отметить четкую работу слаженного коллектива сотрудников редакции, отлично понимающих огромную ответственность за выпуск «Лесного журнала», пользующегося заслуженным авторитетом в научном мире.

Ответственным секретарем редакции с 1990 г. является заслуженный работник культуры РФ Р.В. Беякова. Имея 36-летний опыт издательской деятельности, она много внимания уделяет пропаганде и развитию научных достижений в области лесного хозяйства и лесоперерабатывающих отраслей, экологии, научных школ крупных отечественных ученых, ежегодно организует и проводит научные читательские конференции, круглые столы, выездные заседания редколлегии «Лесного журнала» в родственных вузах России и ближнего зарубежья. Творчески и инициативно руководит работой редакции, координирует работу членов редколлегии, авторов и рецензентов. Ее стараниями редакция оснащена новым современным оборудованием: мощными компьютерами, цветными принтерами, другой техникой.

Более 47 лет бессменным редактором разделов «Лесное хозяйство», «Лесозэксплуатация», «Экономика и организация производства», других рубрик является ведущий специалист Н.П. Бойкова; около 20 лет разделы «Механическая обработка древесины и древесиноведение», «Химическая переработка древесины», «Компьютеризация учебных и технологических процессов» и др. редактирует ведущий специалист Л.С. Окулова. Корректор Е.Б. Краснова, владеющая компьютерной версткой технических текстов, занимается также дизайнерскими разработками. Это двухкрасочная обложка, украсившая журнал, а также полноцветная обложка юбилейного номера. Машинистка О.В. Деревцова – мастер компьютерного набора, легко справляется и с делопроизводством журнала. Добросовестный труд сотрудников редакции по пропаганде научных знаний неоднократно отмечался грамотами Министерства, университета, благодарностями. Неоценимую помощь коллективу оказывает проректор АГТУ по инновационным технологиям И.И. Иванкин. Для иностранных читателей содержание журнала и аннотации статей переводит на английский язык Н.Т. Подражанская.

Достойную лепту в издание «Лесного журнала» внесли работавшие в разные годы редакторы Л.П. Тулякова, З.Ф. Кекишева, корректоры Т.А. Пальмина, В.С. Журавлева, В.П. Олтаржевская, Г.П. Иванова, Э.Н. Власова, Л.Л. Аксенова, секретари-машинистки Г.Б. Нифантова, В.И. Зеленкова и др. переводчик Л.А. Корельская.

Находясь на передовых рубежах лесной науки, «Лесной журнал» широко пропагандирует научно-технические знания по всем отраслям лесного дела. Активно способствуя научно-техническому прогрессу в лесном хозяйстве, лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и лесохимической промышленности, журнал поднимает и уровень подготовки инженерно-технических и научных кадров. Заметим, что он включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации материалов докторских и кандидатских диссертаций.

В 175-летней истории «Лесного журнала» последние 50 лет – период сравнительно небольшой, но наполнен он большим содержанием. Новый «Лесной журнал» внес в сокровищницу науки о лесе свой весомый вклад, значение которого непреходяще.

Коллектив факультета лесного хозяйства АГТУ сердечно поздравляет юбиляра, горячо желает ему процветания, а его издателям – крепкого здоровья, счастья и творческих успехов в их благороднейшем деле на благо нашей великой Отчизны!

#### ЛИТЕРАТУРА О «ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ»

- Мелехов, И.С.* Очерк развития науки о лесе в России [Текст] / И.С. Мелехов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 207 с.
- Бейлин, И.Г.* Очерки по истории лесных обществ дореволюционной России [Текст] / И.Г. Бейлин. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 158 с.
- Таранович, В.П.* К истории развития русской лесной периодической печати [Текст] / В.П. Таранович // Лес, его изучение и использование: лесн. сб. – Л.: Изд-во АН СССР, 1928. – Вып. 3. – 228 с.
- Войчаль, П.И.* От редакции [Текст] / П.И. Войчаль // Лесн. журн. – 1958. – № 1. – С. 3–4. – (Изв. высш. учеб. заведений).
- Войчаль, П.И.* О проблематике «Лесного журнала» [Текст] / П.И. Войчаль // Там же. – 1960. – № 4. – С. 3–6.
- Войчаль, П.И.* «Лесному журналу» 10 лет [Текст] / П.И. Войчаль // Там же. – 1968. – № 2. – С. 3–4.
- Боховкин, И.М.* На переднем крае лесной науки [Текст] / И.М. Боховкин, Е.С. Романов // Там же. – 1978. – № 2. – С. 3–4.
- Мелехов, И.С.* К 145-летию «Лесного журнала» [Текст] / И.С. Мелехов, А.Р. Родин, М.Д. Мерзленко // Там же. – 1978. – № 2. – С. 171–172.
- Мелехов, И.С.* Итоги работы и задачи «Лесного журнала» (к 25-летию со дня основания серии «Известия высших учебных заведений», раздел «Лесной журнал») [Текст] / И.С. Мелехов // Там же. – 1983. – № 2. – С. 3–8.
- Мелехов, И.С.* 150-летие основания первого «Лесного журнала» [Текст] / И.С. Мелехов, М.Д. Мерзленко, П.М. Трофимов // Там же. – 1983. – № 2. – С. 121–125.

- Мигунова, Е.С.* О становлении лесной типологии (к 150-летию основания «Лесного журнала») [Текст] / Е.С. Мигунова // Там же. – 1983. – № 2. – С. 125–127.
- Гусев, И.И.* «Лесной журнал» и проблемы лесоустройства [Текст] / И.И. Гусев, О.А. Неволин // Там же. – 1983. – № 2. – С. 9–15.
- Романов, Е.С.* Редколлегия «Лесного журнала» во Львове [Текст] / Е.С. Романов // Там же. – 1991. – № 6. – С. 133.
- Неволин, О.А.* «Лесному журналу» – 160 лет [Текст] / О.А. Неволин // Там же. – 1992. – № 6. – С. 131–133.
- Морозов, С.И.* Читательская конференция «Лесного журнала» [Текст] / С.И. Морозов, А.В. Веретенников // Там же. – 1994. – № 2. – С. 143–144.
- Морозов, С.И.* Читательская конференция в Екатеринбурге [Текст] / С.И. Морозов, Р.В. Белякова // Там же. – 1995. – № 1. – С. 137–139.
- Хлебова, В.В.* «Лесной журнал» в центре Сибири [Текст] / В.В. Хлебова, С.И. Ованесова // Там же. – 1996. – № 4–5. – С. 207–208.
- Соколов, О.М.* О работе «Лесного журнала» в 1996 г. [Текст] / О.М. Соколов // Там же. – 1996. – № 6. – С. 148–151.
- Соколов, О.М.* К читателям, авторам, рецензентам «Лесного журнала» [Текст] / О.М. Соколов // Там же. – 1997. – № 1-2. – С. 7.
- Неволин, О.А.* Летопись лесного дела (к 165-летию «Лесного журнала» и 40-летию серии «Известия высших учебных заведений») [Текст] / О.А. Неволин // Там же. – 1997. – № 6. – С. 5–16.
- Комаров, В.И.* 165-летие основания «Лесного журнала» [Текст] / В.И. Комаров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 1998. – № 3–4. – С. 15.
- Неволин, О.А.* Летопись лесного дела. К 165-летию «Лесного журнала» [Текст] / О.А. Неволин // Наш темп. – 1998. – № 1-2.
- Романов, Е.С.* «Лесной журнал»: 40 лет в Архангельске [Текст] / Е.С. Романов // Наш темп. – 1998. – № 1-2.
- Лесной журнал [Текст] // Архангельский государственный технический университет (1929–1999). – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 1999. – С. 106–109.
- Лесной журнал [Текст]. – 2-е изд., перераб. и доп. // Там же. – 2001. – С. 123–125.
- Питухин, А.В.* Читательская конференция «Лесного журнала» в Карелии [Текст] / А.В. Питухин // Лесн. журн. – 2003. – № 4. – С. 148–149. – (Изв. высш. учеб. заведений).
- Кишенков, Ф.В.* Читательская конференция «Лесного журнала» [Текст] / Ф.В. Кишенков, Е.Н. Самошкин // Там же. – 2004. – № 2.

Архангельский государственный  
технический университет

*O.A. Nevolin*

**Glorious Jubilee of Forest Chronicle (to 175<sup>th</sup> anniversary and 50<sup>th</sup> anniversary of the series «Proceedings of Higher Educational Institutions»)**

---





УДК 630\*164:582.475.2/4

**Б.В. Раевский, А.А. Мордась, А.А. Ильинов**

Раевский Борис Владимирович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории лесовосстановления Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет 50 печатных работ в области искусственного лесовосстановления, селекции и семеноводства.



Мордась Анатолий Артемович родился в 1932 г., окончил в 1956 г. Украинскую сельскохозяйственную академию, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории лесовосстановления Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет 78 печатных работ в области искусственного лесовосстановления, селекции и семеноводства.



### **ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОСВЯЗЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ И ЕЛИ**

Изучены изменчивость и взаимосвязь набора морфологических черт и биометрических показателей сеянцев сосны обыкновенной и ели финской в целях проверки методов ранней диагностики.

*Ключевые слова:* сосна, ель, семена, сеянцы, число семядолей, треххвойные брахибласты, ранняя диагностика.

Использование при искусственном лесовосстановлении посевного или посадочного материала с наследственно обусловленным быстрым ростом является важным фактором его интенсификации. Производство такого материала – конечная цель систем популяционной и плюсовой селекции, базирующихся на использовании потенциалов межпопуляционной и внутривидовой форм генетической изменчивости, но с различным акцентом. Таким образом, в практике лесной селекции мы имеем дело либо с образцами семян, сеянцев и т. п., представляющими некие популяции (провениенции, ценопопуляции), либо с потомствами от свободного или контролируемого скрещивания отдельных индивидуумов, как правило, их клонов.

При работе с лесными древесными видами значительное внимание всегда уделялось разработке методов ранней диагностики.

Нами предпринята попытка использовать метод ранней диагностики по числу семядолей, разработанный в СевНИИЛХе [8–10]. Он основан на закономерностях расщепления потомства отдельных деревьев и популяций по числу семядолей у всходов и роста этого потомства в течение первых 10 лет жизни растений. Признак семядольности для ранней диагностики энергии роста семян использован рядом исследователей [1, 6, 7, 12–14].

Территория Республики Карелия является частью обширной зоны интрогрессивной гибридизации ели европейской (*Picea abies*) и ели сибирской (*P. obovata*). Здесь произрастает в основном ель гибридная *P. x fennica* с примесью на севере и северо-востоке Карелии деревьев с признаками ели сибирской, а на юге и юго-западе – ели европейской. В 1989 г. для изучения внутривидовой изменчивости и популяционной структуры ели финской (*Picea x fennica* Rgl. Kom.) в Карелии были собраны образцы шишек в естественных насаждениях в диапазоне 60 ... 66° с. ш. и 31 ... 36° в. д. (табл. 1).

Таблица 1

## Число семядолей у происхождений ели

Происхождение	Группа популяций	Северная широта, град	Восточная долгота, град	Масса 1000 семян, г	Число семядолей, шт.	Коэффициент вариации $C_v$ , %	Достоверность разности $t$
Кестеньга	G1	66,20	31,31	3,0	6,4±0,1	12,0	-6,1
Калевала	G2	65,20	31,35	3,6	6,8±0,1	13,4	-2,5
Кемь	G2	65,17	32,75	4,2	7,1±0,1	11,8	0,3
Боровой	G3	64,67	31,88	3,9	7,1±0,1	11,3	-0,2
Сумпосад	G4	64,17	35,63	4,5	6,9±0,1	11,7	-1,2
Муезерка	G3	63,95	32,22	3,7	6,9±0,1	12,2	-1,7
Попов Порог	G4	63,45	34,18	4,4	7,0±0,1	12,2	-0,8
Лендеры	G4	63,42	31,20	4,0	6,7±0,1	11,3	-3,3
Поросозеро	G4	62,73	32,68	4,2	6,7±0,1	12,2	-2,9
Кяппесельга	G6	62,65	34,21	4,3	7,4±0,1	10,3	3,1
Пяльма	G6	62,60	36,20	5,1	7,2±0,1	11,7	1,1
Гомсельга	G4	62,47	33,80	3,0	7,1±0,1	11,1	0,0
Пуйкола	G5	62,13	30,68	4,8	7,5±0,1	11,1	5,4
Лоймола	G5	62,07	32,68	4,7	7,1±0,1	10,2	1,0
Петрозаводск	G7	61,97	34,48	4,3	7,3±0,1	11,5	3,2
Пудож	G6	61,73	36,60	4,8	7,2±0,1	11,9	1,7
Верхн. Важины	G7	61,72	33,72	5,5	7,6±0,1	11,9	5,7
Вытегра	G8	60,93	36,78	4,7	7,3±0,1	10,2	3,2
Попорожье	G9	60,92	34,18	4,0	7,2±0,1	12,5	0,9
Среднее	–	–	–	–	7,1±0,02	12,3	–

В 19 пунктах брали по 100 шишек (по одной нормально развитой, неповрежденной с дерева), из каждой выделяли 10 полнозернистых семян. Таким образом, для каждой провениенции формировали образец из 1000 семян, которые весной 1990 г. высевали на грядки в открытом грунте. Почвенный субстрат готовили из песка, торфа и лесной подстилки, взятой в сосняке брусничном, в соотношении 1 : 1 : 1. Число семядолей подсчитывали у 100 сеянцев в варианте. В конце вегетационного сезона выкапывали по 50 сеянцев в варианте, измеряли общую длину сеянца и длину надземной части. На второй и третий год определяли воздушно-сухую массу каждого сеянца.

На основании многолетних наблюдений в условиях средней подзоны тайги, на клоновой лесосеменной плантации (ЛСП) Олонецкого лесхоза, составлены подробные морфологические портреты и дана обобщенная селекционная оценка группы (39 шт.) клонов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) различного географического происхождения. Оценка давали по 39 признакам, характеризующим габитус клона, темпы вегетативного роста, обилие цветения и плодоношения, параметры шишек и семян. Учитывали также данные о росте полусибсовых потомств некоторых клонов в испытательных культурах 8–15-летнего возраста [5]. В 2002–2003 гг. изучали рост и развитие одно- и двухлетних сеянцев этих клонов, выращенных в условиях теплицы по ранее разработанной технологии [4]. Для целей фенотипического анализа 39 клоновых потомств были сгруппированы в 8 условных «популяций», представляющих разные лесосеменные районы Карелии, а также Московскую область. Всего заложено 40 вариантов площадью по 2 м<sup>2</sup> каждый. Контролем служил образец семян общего сбора с ЛСП Олонецкого лесхоза. В однолетних посевах определяли в 10-кратной повторности грунтовую всхожесть семян как отношение числа высеванных семян к числу появившихся всходов. В каждом варианте подсчитывали число семядолей у 50 всходов, в конце второго вегетационного периода отбирали по 100 образцов сеянцев для последующего анализа. В лабораторных условиях определяли параметры, характеризующие количественные и качественные признаки посадочного материала различного происхождения: высоту, диаметр у корневой шейки, число верхушечных почек и боковых побегов, длину максимального бокового побега и хвои, наличие треххвойных брахибластов, абс. сухую массу хвои и стволиков.

Полученные данные обрабатывали общепринятыми биометрическими методами с определением основных параметров описательной статистики, использовали также корреляционный и дисперсионный анализ.

При анализе данных применяли различные способы группировки материала. В частности, географическую широту происхождения округляли до целого градуса, в результате получилось шесть групп в диапазоне 61 ... 66° с градацией в 1°. Кроме того, исходные 19 провениенций (локальных популяций) ели на основании данных морфологического анализа шишек и

Таблица 2

## Матрица коэффициентов корреляции при различной группировке материала

Показатели	Популяции ( $N = 19, r = 0,45$ )*			Группы по широте ( $N = 6, r = 0,8$ )			Группы популяций ( $N = 9, r = 0,66$ )	
	Широта, град	Масса 1000 се- мян	Число семядо- лей	Широта, град	Масса 1000 се- мян	Число семядо- лей	Масса 1000 се- мян	Mean_ctld
Широта	1	<b>-0,56</b>	<b>-0,70</b>	1	<b>-0,85</b>	<b>-0,88</b>	–	–
Масса 1000 семян	<b>-0,56</b>	1	<b>0,70</b>	<b>-0,85</b>	1	<b>0,94</b>	1	<b>0,97</b>
Число се- мядолей	<b>-0,70</b>	<b>0,70</b>	1	<b>-0,88</b>	<b>0,94</b>	1	<b>0,97</b>	1
Высота:								
1990 г.	-0,35	0,35	0,43	-0,65	0,72	0,72	<b>0,67</b>	<b>0,69</b>
1991 г.	<b>-0,67</b>	0,38	<b>0,62</b>	<b>-0,84</b>	<b>0,96</b>	<b>0,91</b>	<b>0,86</b>	<b>0,89</b>
1992 г.	-0,38	0,32	<b>0,49</b>	-0,63	<b>0,93</b>	<b>0,83</b>	0,65	0,65
Масса:								
1991 г.	<b>-0,53</b>	0,30	<b>0,46</b>	<b>-0,83</b>	<b>0,95</b>	<b>0,93</b>	<b>0,88</b>	<b>0,83</b>
1992 г.	-0,34	0,16	0,36	-0,73	<b>0,85</b>	<b>0,88</b>	<b>0,70</b>	<b>0,72</b>

\*  $N$  – число пар значений;  $r$  – пороговая величина статистически достоверного коэффициента корреляции при  $P=0,95$ .

изоферментного анализа были объединены в группы популяций. Итоговые данные корреляционного анализа помещены в табл. 2. Жирным шрифтом выделены статистически достоверные при уровне доверительной вероятности  $P = 0,95$  коэффициенты корреляции и показатель достоверности разности выборочных средних. В качестве контроля определена провениенция «Гомсельга» – место, где заложен опыт (см. табл. 1).

При анализе табличных данных обращает на себя внимание, прежде всего, тесная корреляция массы 1000 семян и среднего числа семядолей у потомства с широтой места происхождения семян. Очевидно, что это частный случай проявления достаточно хорошо известной клинальной формы изменчивости многих признаков как у ели, так и у сосны в направлении север – юг. Кроме того, наблюдается статистически достоверная и весьма тесная связь массы 1000 семян и числа семядолей, т. е. признаков, которые мы считаем в данном случае независимыми, с высотой стволика и воздушно-сухой массой сеянцев в первые три вегетационных сезона. Примененные способы группировки данных усиливали проявление данной связи, во всех случаях ясно просматривалась тенденция ослабления ее с возрастом.

Говоря о межпопуляционной изменчивости, уместно привлечь к анализу данные широкоареальных испытаний, какими являются классические географические культуры. В Карелии в 1974–1977 гг. были заложены три таких участка (один с елью) как составная часть всесоюзной серии географических культур сосны и ели. Задействовано 27 происхождений ели, что позволяло строить трансекты в разных направлениях, в том числе север – юг, в диапазоне  $67... 56^\circ$  с. ш. Данные, полученные в этих культурах, по-

казали тесную достоверную корреляцию широты происхождения семенного материала с массой 1000 семян, числом семядолей, с одной стороны, и скоростью роста в высоту – с другой примерно до 7-летнего биологического возраста [11]. Значения и знаки коэффициентов аналогичны приведенным в табл. 2. Сделан вывод, что при испытании в средней подзоне тайги, в районе 62° с. ш., более южные происхождения с большими массой семян и числом семядолей в первые 3...5 лет после посадки обычно растут быстрее местных вариантов, не говоря уже о более северных. Однако затем в результате взаимодействия неблагоприятных погодных-климатических факторов и генетически закрепленных адаптационных механизмов ситуация меняется коренным образом и ранги вариантов и их групп стабилизируются примерно к 15...17 годам.

В селекционной работе с сосной и елью редко приходится иметь дело с образцами шишек и семян непосредственно с плюсовых деревьев и насаждений, где они были отобраны. Более доступен семенной материал от свободного опыления вегетативных потомств плюсовых деревьев, которые растут и плодоносят на клоновых ЛСП. В настоящее время весьма актуальна селекционная оценка этих клонов на плантациях первого поколения, в том числе с использованием методов ранней диагностики. Поэтому несомненный интерес представляет всесторонняя апробация существующих ныне методов.

Опыт показал, что по числу семядолей полусибсовыя потомства клонов различного происхождения различались незначительно (табл. 3). Можно заключить, что все они имеют потенциальную возможность быстрого роста, так как суммарная представленность 6–8-семядольных линий в подавляющем большинстве групп превышала 80 %. В потомстве некоторых клонов она достигала 90 % и более при коэффициенте вариации ниже среднего по группе. Этот момент может быть использован в качестве одного из дополнительных критериев при селекционно-генетической оценке плюсовых деревьев или их клонов. Число наиболее перспективных 7-8-семядольных особей среди всех полусибсовых потомств не превышало 30 %, а основная масса всходов (около 60 %) относилась к 6-семядольной линии (см. рисунок).

Низкий коэффициент вариации данного признака как у сосны, так и у ели свидетельствует о том, что он достаточно консервативен и как видовой признак жестко генетически контролируется. В нашем случае из 39 вариантов только 6, у которых среднее число семядолей было 6,4 и более, имели статистически достоверную разность с контролем. Здесь и далее по тексту статистическая достоверность определена по первому уровню доверительной вероятности ( $P = 0,95$ ). При сравнении на уровне популяций (групп) ни у одной из них не было достоверной разности с контролем. Важно и то, что средние значения числа семядолей никак не отражали ранжирования этих групп клонов по скорости роста, установленного в результате длительных наблюдений. Московские клоны оказались самыми быстрора-

стущими, а по числу семян они ничем не выделялись. То же самое можно сказать

Таблица 3

**Изменчивость числа семян и всхожести семян в потомствах клонов сосны различного происхождения по лесосеменным районам**

Шифр клона	Масса 1000 семян, г	Средняя грунтовая всхожесть, %	Число семян, шт.			Процент 6-,7-и 8- семядольных растений
			$\bar{X} \pm m_x$	P, %	C <sub>v</sub> , %	
<b>Контроль</b>	<b>5,90</b>	<b>51,6</b>	<b>5,93±0,11</b>	<b>1,8</b>	<b>9,8</b>	<b>87</b>
Северокарельский лесосеменной подрайон (64°30' – 66°40' с. ш.)						
674Юшкозеро	6,52	43,2	6,10±0,10	1,6	9,0	90
676Юшкозеро	5,38	68,9	6,12±0,11	1,8	12,6	78
669Калевала	6,35	46,3	5,97±0,10	1,7	9,3	83
216Кестеньга	7,37	51,4	6,23±0,11	1,8	10,0	90
217Кестеньга	6,83	49,0	6,17±0,13	2,1	11,3	90
<b>Север</b>	<b>6,49</b>	<b>51,9</b>	<b>6,12±0,05</b>	<b>0,8</b>	<b>10,8</b>	<b>86</b>
Центральнокарельский лесосеменной подрайон (63°00' – 64°30' с. ш.)						
1Ругозеро	6,60	25,3	6,60±0,40	2,1	11,7	93
3Ругозеро	5,37	59,6	6,23±0,10	1,7	9,1	97
7Ругозеро	6,02	51,8	6,17±0,14	2,3	12,4	80
20Ругозеро	6,05	31,8	6,13±0,12	2,0	11,1	83
22Ругозеро	5,52	54,2	5,67±0,12	2,1	11,7	70
<b>Ругозеро</b>	<b>5,91</b>	<b>45,3</b>	<b>6,16±0,06</b>	<b>1,0</b>	<b>12,1</b>	<b>85</b>
Южнокарельский лесосеменной район (63°00' – 60°40' с. ш.)						
7Кивач	6,91	57,8	6,15±0,10	1,6	11,7	72
10Кивач	6,52	35,4	6,08±0,10	1,6	11,0	84
14Кивач	7,08	64,0	6,62±0,11	1,6	11,4	98
15Кивач	4,97	61,0	5,82±0,09	1,5	10,8	70
18Кивач	5,93	72,8	5,70±0,09	1,6	11,3	68
<b>Кивач</b>	<b>6,28</b>	<b>58,2</b>	<b>6,01±0,05</b>	<b>0,8</b>	<b>12,5</b>	<b>78</b>
644Прионежье	7,79	44,3	6,58±0,08	1,2	8,2	100
649Прионежье	6,86	51,8	6,03±0,12	2,0	11,1	83
582Петрозводск	6,40	67,0	6,00±0,11	1,8	12,6	78
584Петрозводск	5,69	47,9	5,93±0,18	3,0	16,5	73
132Шуйско- Виданский	6,27	60,0	5,87±0,12	2,1	11,6	70
<b>Прионежье</b>	<b>6,60</b>	<b>55,0</b>	<b>6,13±0,06</b>	<b>0,9</b>	<b>12,5</b>	<b>81</b>
2Олонец	5,89	69,6	6,02±0,10	1,6	11,2	79
3Олонец	7,72	66,3	6,46±0,10	1,5	10,9	94
5Олонец	5,89	56,6	6,14±0,12	1,9	13,3	82
8Олонец	5,56	37,6	6,10±0,08	1,3	9,5	88
9Олонец	6,25	22,4	5,90±0,08	1,3	6,9	86
<b>Олонец (1)</b>	<b>6,26</b>	<b>51,5</b>	<b>6,15±0,05</b>	<b>0,7</b>	<b>11,2</b>	<b>86</b>
10Олонец	6,42	52,2	6,20±0,10	1,6	8,9	93
12Олонец	5,22	59,0	5,80±0,11	1,9	10,2	73
13Олонец	6,86	55,2	5,97±0,14	2,3	12,8	73
14Олонец	7,63	50,0	6,73±0,14	2,0	11,0	97

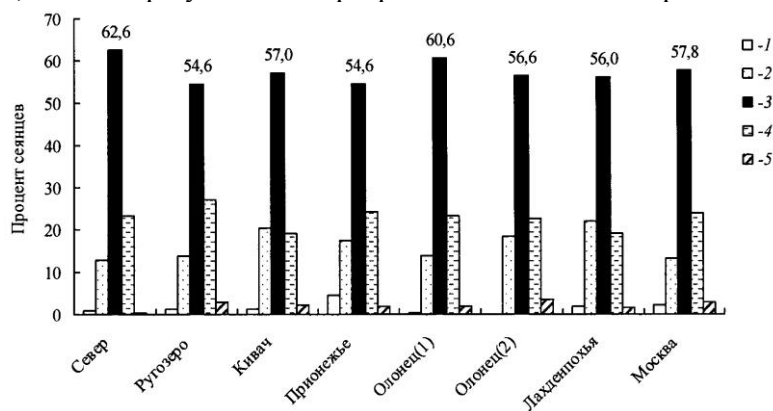
17Олонец	5,06	42,0	5,90±0,10	1,7	9,3	80
<b>Олонец (2)</b>	<b>6,24</b>	<b>51,7</b>	<b>6,12±0,06</b>	<b>1,0</b>	<b>11,7</b>	<b>82</b>

Окончание табл.3

Шифр клона	Масса 1000 семян, г	Средняя грунтовая всхожесть, %	Число семядолей, шт.			Процент 6-,7-и 8- семядольных растений
			$\bar{X} \pm m_x$	<i>P</i> , %	<i>C<sub>v</sub></i> , %	
27Лахденпохья	5,93	32,4	5,93±0,13	2,1	11,7	73
28Лахденпохья	5,38	51,8	5,70±0,14	2,4	13,2	64
36Лахденпохья	5,65	55,8	6,23±0,11	1,8	9,6	90
45Лахденпохья	5,88	32,0	5,80±0,14	2,4	13,1	67
51Лахденпохья	5,02	65,6	6,10±0,13	2,1	11,7	87
<b>Лахденпохья</b>	<b>5,57</b>	<b>47,5</b>	<b>5,93±0,06</b>	<b>1,0</b>	<b>12,1</b>	<b>76</b>
<b>Южнокарельский район</b>	<b>6,19</b>	<b>52,8</b>	<b>6,07±0,02</b>	<b>0,9</b>	<b>12,5</b>	<b>81</b>
Центральный (Московский) лесосеменной район						
1Москва	7,26	46,8	6,08±0,10	1,6	11,3	86
2Москва	7,54	35,5	6,00±0,11	1,8	10,0	83
3Москва	8,56	54,6	6,45±0,13	2,1	11,3	93
4Москва	5,96	58,8	5,80±0,16	2,7	14,9	76
<b>Москва</b>	<b>7,33</b>	<b>51,3</b>	<b>6,09±0,06</b>	<b>1,0</b>	<b>12,1</b>	<b>85</b>

Примечание.  $\bar{X} \pm m_x$  – среднее и его ошибка; *P* – точность определения среднего; *C<sub>v</sub>* – коэффициент вариации.

и о клонах группы «Север», хотя они растут медленнее всех. Полусибсовые потомства клонов популяции «Ругозеро» в испытательных культурах существенно уступают потомствам клонов популяции «Олонец (1)» по росту в высоту, по среднему числу семядолей между ними нет различий. Клоны популяции «Кивач», произрастая на одной ЛСП с клонами «Олонец (1)», в 27-летнем возрасте достоверно выше последних на 6 %, а по числу семядолей у потомства уступают им. В целом просматривается выравнивание многих изученных показателей у полусибсовых потомств, что, по всей видимости, является результатом перекрестного опыления в пределах ЛСП.



Распределение семян по числу семядолей в популяциях:  
кривые 1 – 5 – соответственно 4, 5, 6, 7 и 8 семядолей

Исходя из данных табл. 4, уровни изменчивости двухлетних сеянцев сосны по высоте и диаметру во всех вариантах оцениваются как повышенные ( $C_v = 21 \dots 30 \%$ ), а по длине хвои в большинстве случаев как средние ( $C_v = 13 \dots 20 \%$ ).

Таблица 4

**Изменчивость биометрических показателей 2-летних тепличных сеянцев сосны, выращенных из семян разного происхождения**

Вариант	Густота, шт./м <sup>2</sup>	Высота, см		Диаметр, мм		Длина хвои в под- почечной зоне, см	
		$\bar{X} \pm m_x$	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm m_x$	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm m_x$	$C_v, \%$
<b>Контроль</b>	<b>516</b>	<b>13,8±0,5</b>	<b>34,3</b>	<b>2,29±0,09</b>	<b>38,7</b>	<b>9,5±0,2</b>	<b>26,1</b>
Северокарельский лесосеменной подрайон							
674Юшкозеро	432	15,7±0,4	26,6	2,2±0,07	29,6	9,4±0,2	16,8
676Юшкозеро	686	19,0±0,4	22,0	2,5±0,07	29,7	9,3±0,2	19,0
669Калевала	463	13,6±0,3	24,7	2,0±0,06	29,6	9,9±0,2	20,2
216Кестеньга	520	14,1±0,4	23,8	2,0±0,06	28,2	9,2±0,2	19,0
217Кестеньга	490	14,1±0,3	22,7	2,1±0,05	22,4	8,7±0,2	19,8
<b>Север</b>	<b>518</b>	<b>15,3±0,4</b>	<b>24,0</b>	<b>2,2±0,06</b>	<b>27,1</b>	<b>9,3±0,2</b>	<b>18,9</b>
Центральнокарельский лесосеменной подрайон							
1Ругозеро	550	14,2±0,4	27,5	2,1±0,07	32,3	9,6±0,2	21,5
3Ругозеро	596	14,5±0,4	26,3	2,4±0,07	30,4	9,5±0,2	20,0
7Ругозеро	518	14,4±0,4	25,7	2,3±0,07	29,2	10,1±0,2	18,5
20Ругозеро	560	14,1±0,4	28,0	2,2±0,07	30,0	9,7±0,2	22,0
22Ругозеро	542	13,9±0,4	29,0	2,1±0,08	36,4	9,6±0,3	25,4
<b>Ругозеро</b>	<b>553</b>	<b>14,3±0,4</b>	<b>27,0</b>	<b>2,2±0,07</b>	<b>31,9</b>	<b>9,7±0,2</b>	<b>21,3</b>
Южнокарельский лесосеменной район							
7Кивач	578	14,8±0,4	30,1	2,31±0,07	30,2	10,1±0,2	15,9
10Кивач	534	15,3±0,5	28,6	2,56±0,09	35,0	9,9±0,2	18,4
14Кивач	640	15,6±0,4	27,0	2,18±0,07	34,1	8,5±0,2	24,1
15Кивач	610	14,9±0,4	25,9	2,06±0,05	23,0	9,2±0,2	18,2
18Кивач	726	16,0±0,3	19,1	2,31±0,06	23,9	9,3±0,2	18,9
<b>Кивач</b>	<b>618</b>	<b>15,3±0,4</b>	<b>26,1</b>	<b>2,30±0,07</b>	<b>29,2</b>	<b>9,4±0,2</b>	<b>19,1</b>
644Прионежье	565	14,0±0,3	23,1	2,2±0,05	27,1	10,0±0,2	18,0
649Прионежье	518	15,0±0,4	26,2	2,3±0,06	28,4	10,0±0,2	21,4
582Петрозаводск	670	13,1±0,2	17,3	2,0±0,05	25,3	10,5±0,2	15,5
584Петрозаводск	476	15,2±0,4	24,0	2,3±0,06	25,0	8,4±0,2	19,4
132Шуйско- Виданский	600	13,7±0,3	22,8	2,1±0,06	27,4	9,9±0,1	13,8
<b>Прионежье</b>	<b>566</b>	<b>14,3±0,3</b>	<b>22,6</b>	<b>2,2±0,06</b>	<b>26,5</b>	<b>9,7±0,2</b>	<b>17,5</b>
2Олонец	696	15,0±0,4	24,3	2,2±0,06	27,7	10,0±0,2	17,4
3Олонец	663	15,5±0,4	27,5	2,5±0,07	29,6	10,7±0,2	19,9
5Олонец	586	16,6±0,4	24,5	2,4±0,07	27,5	9,3±0,2	21,9
8Олонец	376	17,1±0,5	29,2	2,9±0,08	26,4	8,7±0,2	21,3



9Олонец	579	16,3±0,5	26,5	2,4±0,07	27,8	9,6±0,2	21,0
<b>Олонец (1)</b>	<b>580</b>	<b>16,0±0,4</b>	<b>26,4</b>	<b>2,5±0,07</b>	<b>27,8</b>	<b>9,7±0,2</b>	<b>20,1</b>

Окончание табл. 4

Вариант	Густота, шт./м <sup>2</sup>	Высота, см		Диаметр, мм		Длина хвои в под- почечной зоне, см	
		$\bar{X} \pm m_x$	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm m_x$	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm m_x$	$C_v, \%$
10Олонец	582	12,8±0,3	25,6	2,2±0,06	26,4	9,1±0,2	18,2
12Олонец	567	13,2±0,3	26,2	2,2±0,07	27,3	9,4±0,2	19,5
13Олонец	523	11,3±0,3	24,7	2,0±0,07	25,9	10,4±0,2	20,8
14Олонец	621	15,6±0,4	28,9	2,3±0,07	24,9	8,7±0,2	21,0
17Олонец	650	13,2±0,3	28,5	2,2±0,08	28,9	9,4±0,2	21,2
<b>Олонец(2)</b>	<b>587</b>	<b>13,2±0,3</b>	<b>26,8</b>	<b>2,2±0,07</b>	<b>26,7</b>	<b>9,4±0,2</b>	<b>20,1</b>
27Лахденпохья	324	14,9±0,4	23,6	2,25±0,07	28,5	9,3±0,2	16,2
28Лахденпохья	516	14,6±0,4	27,3	2,23±0,07	32,9	10,4±0,2	20,1
36Лахденпохья	558	14,1±0,3	22,6	2,20±0,05	24,7	10,7±0,2	19,9
45Лахденпохья	320	15,5±0,4	25,8	2,62±0,06	22,4	9,0±0,2	17,5
51Лахденпохья	656	20,4±0,5	23,3	2,48±0,07	28,3	9,6±0,2	19,9
<b>Лахденпохья</b>	<b>475</b>	<b>15,9±0,4</b>	<b>24,5</b>	<b>2,36±0,07</b>	<b>27,4</b>	<b>9,8±0,2</b>	<b>18,7</b>
<b>Южнокарельский район</b>	–	<b>15,4±0,2</b>	<b>28,7</b>	<b>2,33±0,03</b>	<b>31,2</b>	<b>9,6±0,1</b>	<b>23,1</b>
Центральный (Московский) лесосеменной район							
1Москва	576	19,0±0,5	26,5	2,5±0,07	31,0	9,4±0,2	20,0
2Москва	560	19,1±0,7	32,0	2,6±0,08	30,0	9,5±0,2	19,8
3Москва	546	20,0±0,5	25,3	2,5±0,07	29,4	9,9±0,2	19,5
24Москва	588	18,2±0,6	32,3	2,6±0,08	31,3	9,1±0,2	20,1
<b>Москва</b>	<b>568</b>	<b>19,1±0,6</b>	<b>28,8</b>	<b>2,6±0,08</b>	<b>30,3</b>	<b>9,5±0,2</b>	<b>19,8</b>

Из 39 испытанных потомств статистически достоверно превосходили контроль по высоте 19, из 8 популяций – 5 (со средней высотой 15,0 см и более), т. е. примерно половина. В числе 10 самых быстрорастущих потомств представлены все изучаемые популяции, кроме варианта «Ругозеро». Полусибсовы потомства разных лет репродукции большинства из перечисленных в табл. 2 клонов неоднократно высевали в теплице Олонецкого лесхоза. Посев 2002 г. в целом подтвердил ранее отмеченные закономерности. Потомства московских клонов всегда были самыми высокорослыми, ругозерские и на этапе питомника, и в испытательных культурах статистически существенно уступали южнокарельским. Ранги других клонов и популяций менялись год от года. Характерно, что у полусибсовых потомств северных клонов не проявляется закономерность сравнительно замедленного роста северных экотипов при перемещении к югу, столь характерная для вегетативного и семенного материала, взятого непосредственно в природе. Никакой связи между числом семядолей и биометрическими показателями двухлетних сеянцев сосны не выявлено. Отмечена только средней тесноты корреляция ( $r = 0,6$ ) числа семядолей с массой 1000 семян. Таким образом, раннедиагностическое значение числа семядолей на данном экспериментальном материале не подтвердилось.

Таблица 5

**Биомасса надземной части 2-летних тепличных сеянцев сосны  
в абс. сухом состоянии в зависимости от исходной высоты**

Класс высоты, см	Масса 100 сеянцев, %			H, см	D, мм	$D^2H$	Процент класса	Кумулятивный процент
	Хвоя	Стволик	Хвоя / стволик					
4...7	67,8	32,2	2,1 / 1,0	6,3	1,3	0,12	1,90	1,90
7...10	68,4	31,6	2,2 / 1,0	9,3	1,6	0,24	11,80	13,70
10...13	67,3	32,7	2,1 / 1,0	12,1	1,9	0,47	22,07	35,77
13...16	68,7	31,3	2,2 / 1,0	15,0	2,3	0,82	28,34	64,11
16...19	64,0	36,0	1,8 / 1,0	17,8	2,6	1,28	17,98	82,09
19...22	60,6	39,4	1,5 / 1,0	20,6	2,9	1,85	12,59	94,68
22...25	60,0	40,0	1,5 / 1,0	23,9	3,4	2,79	3,30	97,98
25...28	60,6	39,4	1,5 / 1,0	26,8	3,5	3,40	1,44	99,42
28...31	60,4	39,6	1,5 / 1,0	30,0	3,7	4,25	0,39	99,81
31...34	57,6	42,4	1,4 / 1,0	33,4	4,1	5,84	0,16	99,97
34...37	54,2	45,8	1,2 / 1,0	35,0	3,6	4,54	0,03	100

Повышенный уровень изменчивости по высоте и диаметру предполагает возможность разделения сеянцев на фракции по крупности и одновременно по биомассе, так как линейные параметры (высота, диаметр) тесно коррелируют с биомассой надземной части (табл. 5).

Важнейшими показателями, характеризующими степень развития структурно-функциональных органов сеянцев, являются их высота, диаметр у корневой шейки, биомасса. Весьма эффективным для отбора деревьев-лидеров Е.Л. Маслаков [3] считает производный показатель  $D^2H$ . Как видно из табл. 5, чем мельче сеянцы, тем большую часть их биомассы составляет ассимилирующий орган – хвоя. В изменении этого показателя по классам высоты в нашем примере просматриваются качественные скачки, позволяющие разделить сеянцы на три группы: I – высотой 4 ... 16 см; II – 16 ... 31 см; III – 31 ... 37 см. С этой группировкой хорошо увязываются такие параметры, как  $D$  и  $D^2H$ . Отбраковка I группы оставила бы в нашем распоряжении около 36 % наиболее гармонично развитых сеянцев. Такая дифференциация двухлетних сеянцев по биометрическим показателям в загущенных посевах, естественно, является некоторым итогом конкурентных отношений на грядке, где распределение важнейших экологических факторов (влаги и питательные вещества) не идеально. Однако есть все основания предположить, что результат этого внутривидового соревнования определяется в основном наследственностью. Поэтому сортировка сеянцев по категориям крупности перед посадкой на лесокультурную площадь может быть одним из эффективных методов ранней диагностики посадочного материала по скорости роста [2, 3]. Математически влияние этого признака не определено, поскольку если общая оценка вклада генотипа в наблюдаемое фенотипическое разнообразие с использованием статистических процедур на кло-

новых ЛСП не представляет собой особой сложности, то во всех иных случаях возникают серьезные проблемы.

Среди других признаков, характеризующих качество посадочного материала, учитывали длину главного корня, число верхушечных почек и боковых побегов, длину максимального бокового побега, наличие треххвойных брахибластов (табл. 6). Данные о длине главного корня характеризуют глубину копки сеянцев, которая для всех вариантов была примерно одинаковой – около 18 см.

Таблица 6

**Биометрические показатели 2-летних тепличных сеянцев сосны, выращенных из семян разного происхождения**

Клон	Высота, см	Диаметр, мм	Длина главного корня, см	Число верху- шечных почек, шт.	Число боковых побегов, шт.	Длина максималь- ного бо- кового побега, см	Длина хвои в подпо- чечной зоне, см	Процент сеянцев с треххвой- ными пуч- ками
<b>Контроль</b>	<b>13,8</b>	<b>2,29</b>	<b>19,1</b>	<b>2,9</b>	<b>0,9</b>	<b>6,1</b>	<b>9,5</b>	<b>9,0</b>
Северокарельский лесосеменной подрайон								
674Юшкозеро	15,7	2,2	16,4	2,9	0,3	5,6	9,4	1,0
676Юшкозеро	19,0	2,5	18,8	3,1	1,7	4,5	9,3	6,0
669Калевала	13,9	2,0	19,3	2,8	0,2	5,6	9,9	4,0
216Кестеньга	14,0	2,0	18,0	2,7	0,4	5,7	9,2	2,0
217Кестеньга	14,1	2,1	18,6	2,7	0,6	5,9	8,7	1,0
<b>Север</b>	<b>15,7</b>	<b>2,2</b>	<b>18,3</b>	<b>2,8</b>	<b>0,6</b>	<b>5,5</b>	<b>9,3</b>	<b>3,0</b>
Центральнокарельский лесосеменной подрайон								
1Ругозеро	14,3	2,3	17,5	3,0	1,2	4,8	9,7	4,0
3Ругозеро	14,5	2,4	18,2	3,2	1,7	4,1	9,5	3,0
7Ругозеро	14,4	2,3	17,0	3,0	1,0	5,4	10,1	9,0
20Ругозеро	14,2	2,3	17,0	3,0	1,2	4,8	9,7	4,0
22Ругозеро	13,9	2,1	16,9	2,9	1,0	4,9	9,6	1,0
<b>Ругозеро</b>	<b>14,3</b>	<b>2,3</b>	<b>17,4</b>	<b>3,0</b>	<b>1,2</b>	<b>4,8</b>	<b>9,7</b>	<b>4,3</b>
Южнокарельский лесосеменной район								
7Кивач	14,8	2,3	17,2	3,0	0,6	5,7	10,1	7,0
10Кивач	15,3	2,6	18,4	3,0	1,0	7,2	9,9	2,0
14Кивач	15,6	2,2	17,3	2,6	0,5	6,7	8,5	3,0
15Кивач	14,9	2,2	18,3	2,8	0,5	6,2	9,2	13,0
18Кивач	16,0	2,3	18,7	3,2	1,4	3,4	9,3	6,0
<b>Кивач</b>	<b>15,3</b>	<b>2,3</b>	<b>18,0</b>	<b>2,9</b>	<b>0,8</b>	<b>5,8</b>	<b>9,4</b>	<b>6,2</b>
644Прионежье	14,0	2,2	18,0	2,8	0,5	5,2	9,7	6,0
649Прионежье	15,0	2,3	18,5	2,9	1,2	4,5	10,0	7,0
582Петрозаводск	13,1	2,0	18,5	2,6	0,4	5,4	10,5	8,0
584Петрозаводск	15,2	2,3	18,6	3,0	0,3	5,2	8,4	5,0
132Шуйско- Виданский	13,7	2,1	16,2	2,9	0,2	5,6	9,9	2,0
<b>Прионежье</b>	<b>14,3</b>	<b>2,2</b>	<b>17,9</b>	<b>2,8</b>	<b>0,5</b>	<b>5,2</b>	<b>9,7</b>	<b>5,5</b>

Окончание табл. 6

Клон	Высота, см	Диаметр, мм	Длина главного корня, см	Число верху- шечных почек, шт.	Число боковых побегов, шт.	Длина максималь- ного бо- кового побега, см	Длина хвои в подпо- чечной зоне, см	Процент сеянцев с треххвой- ными пуч- ками
2Олонец	15,0	2,2	19,4	3,0	1,0	3,1	10,0	10,0
3Олонец	15,4	2,5	17,7	3,0	0,4	4,8	10,7	10,0
5Олонец	16,6	2,4	16,9	2,8	1,9	3,9	9,3	8,0
8Олонец	17,1	2,9	17,8	3,4	2,3	5,1	8,7	18,0
9Олонец	16,0	2,5	18,2	3,0	1,5	4,3	9,8	12,0
<b>Олонец (1)</b>	<b>16,0</b>	<b>2,5</b>	<b>18,0</b>	<b>3,0</b>	<b>1,4</b>	<b>4,2</b>	<b>9,7</b>	<b>11,5</b>
10Олонец	12,8	2,2	19,3	2,8	0,4	5,4	9,1	1,0
12Олонец	13,1	2,2	18,0	2,9	0,7	5,4	9,4	3,0
13Олонец	11,3	2,0	16,1	3,0	0,4	4,3	10,4	4,0
14Олонец	15,6	2,3	17,8	2,8	1,2	6,5	8,7	5,0
17Олонец	13,3	2,3	17,9	2,9	0,6	5,5	9,2	3,0
<b>Олонец (2)</b>	<b>13,2</b>	<b>2,2</b>	<b>17,7</b>	<b>2,8</b>	<b>0,6</b>	<b>5,4</b>	<b>9,4</b>	<b>3,3</b>
27Лахденпохья	14,9	2,3	18,0	3,2	1,7	4,8	9,3	5,0
28Лахденпохья	14,6	2,2	16,5	3,1	0,5	5,8	10,4	1,0
36Лахденпохья	14,1	2,2	17,4	3,4	0,4	4,8	10,7	10,0
45Лахденпохья	15,5	2,6	17,5	3,5	2,0	4,9	9,0	21,0
51Лахденпохья	20,4	2,5	18,1	3,2	0,6	8,3	9,6	1,0
<b>Лахденпохья</b>	<b>15,9</b>	<b>2,4</b>	<b>17,5</b>	<b>3,3</b>	<b>1,0</b>	<b>5,7</b>	<b>9,8</b>	<b>7,6</b>
<b>Южнокарельский район</b>	<b>14,9</b>	<b>2,3</b>	<b>17,8</b>	<b>3,0</b>	<b>0,9</b>	<b>5,3</b>	<b>9,6</b>	<b>7,4</b>
Центральный (Московский) лесосеменной район								
1Москва	19,0	2,5	17,8	3,3	1,9	5,4	9,4	27,0
2Москва	19,1	2,6	18,0	3,4	2,0	5,5	9,5	28,0
3Москва	20,0	2,5	17,0	3,4	1,5	6,0	9,9	39,0
24Москва	18,2	2,6	18,8	3,4	2,5	5,1	9,1	17,0
<b>Москва</b>	<b>19,1</b>	<b>2,6</b>	<b>17,9</b>	<b>3,4</b>	<b>2,0</b>	<b>5,5</b>	<b>9,5</b>	<b>28,0</b>

Усредненное число верхушечных почек колеблется в узких пределах – от 2,7 до 3,5 шт. По среднему числу почек и, соответственно, сеянцев с шестью и семью почками заметно выделяются потомства популяций «Лахденпохья», «Москва» и «Олонец (1)». После пересадки они имеют преимущество по числу ветвей в первой мутовке и охвоенности.

Число и размеры сеянцев с боковыми побегами в целом характеризуют степень развития их вегетативных органов до посадки в школу или на лесокультурную площадь. Этому показателю всегда придавалось существенное значение как предпосылке хорошей приживаемости и сохранности культур. Среди рассматриваемых вариантов можно выделить потомства клонов 676Юшкозеро, 3 и 7Ругозеро, 10 и 18Кивач, 649Прионежье, 5, 8 и 14Олонец, 27 и 45Лахденпохья, 3 и 24Москва, имеющих не менее 50 % се-

янцев с боковыми побегами. Только в этих потомствах встречались сеянцы с пятью – восемью побегами.

Дополнительно к оценке потомств плюсовых деревьев по числу семядолей был использован признак треххвойности, который также используют при ранней диагностике на продуктивность потомства. Полагают [8, 10], что деревья с устойчивым признаком треххвойности растут быстрее остальных.

В табл. 7 приведен перечень биометрических показателей и морфологических признаков, имеющих между собой статистически достоверную

Таблица 7

**Корреляция биометрических показателей и морфологических признаков сеянцев**

Признак	Коррелирующий признак	<i>r</i>
Высота сеянцев, см	Биомасса хвоинок+стволиков, г	1,00
	Диаметр у корневой шейки, мм	0,73
	Процент треххвойных пучков	0,52
	Число боковых побегов, шт.	0,58
Диаметр у корневой шейки, мм	« верхушечных почек, шт.	0,55
	« боковых побегов, шт.	0,76
	Высота сеянцев, см	0,73
	Число верхушечных почек, шт.	0,73
Число верхушечных почек, шт.	Биомасса хвоинок+стволиков, г	0,72
	Процент треххвойных пучков	0,63
	Длина шишки, см	-0,57
	Диаметр у корневой шейки, мм	0,73
	Число боковых побегов, шт.	0,66
	Процент треххвойных пучков	0,62
Число боковых побегов, шт.	Биомасса хвоинок+стволиков, г	0,56
	Высота сеянцев, см	0,55
	Диаметр у корневой шейки, мм	0,76
	Число верхушечных почек, шт.	0,66
Процент треххвойных пучков	Высота сеянцев, см	0,58
	Процент треххвойных пучков	0,63
	Биомасса хвоинок+стволиков, г	0,57
	Число верхушечных почек, шт.	0,63
	Высота сеянцев, см	0,61
	Биомасса хвоинок+стволиков, г	0,61
Биомасса хвоинок+стволиков, г	Диаметр у корневой шейки, мм	0,60
	Число боковых побегов, шт.	0,57
	Диаметр у корневой шейки, мм	0,72
	Процент треххвойных пучков	0,61
Число семядолей, шт.	Число боковых побегов, шт.	0,57
	« верхушечных почек, шт.	0,56
	Процент 6...9 семядолей	0,86
	Масса 1000 семян, г	0,62

Процент 6...9 семядолей	Число семядолей, шт.	0,86
	Масса 1000 семян, г	0,52

( $P = 0,95$ ) корреляционную связь на среднем и высоком уровнях, т. е. с коэффициентами 0,5 и выше. Связь между биометрическими показателями сеянцев и долей особей с треххвойными пучками характеризовалась как средняя по тесноте ( $r = 0,52 \dots 0,63$ ). Среди трех признаков сеянцев, которые достоверно коррелировали с приростом материнского клона в высоту, диаметром сеянцев (0,38), числом верхушечных почек (0,34), признак треххвойности имел наибольший коэффициент  $r = 0,46$ .

Оценивая в целом результаты апробации раннедиагностических тестов на данном экспериментальном материале, можно сделать следующие выводы.

В случае, когда в опыте представлены образцы семян, собранных в природных популяциях или с отдельных их представителей, весьма вероятно проявление межпопуляционной (географической) изменчивости. Сказанное справедливо и для вегетативного материала (черенков). Эта форма наследственной изменчивости в селекционной работе с лесными древесными видами достаточно важна. Ее использование приводит к отбору лучших для данных условий популяций и экотипов. Как показывает опыт, масса 1000 семян и число семядолей, рост и сохранность провениенций в культурах, клонов на ЛСП достаточно четко отражают внутривидовую дифференциацию сосны и ели в европейской части России. Таким образом, в популяционной селекции показатель числа семядолей способен играть существенную роль.

Однако, работая с полусибсовыми потомствами клонов различного географического происхождения, когда последние рендомно размещены на одной плантации, селекционер сталкивается с ситуацией принципиально иного характера. Потомство от свободного опыления с этих клонов возникает как результат практически ничем не ограниченного панмиктического процесса, в котором участвует пыльца как плантации, так и прилегающих насаждений того же вида. В такой ситуации тест по числу семядолей не дает четких результатов.

Выявленная достоверная положительная корреляция между долей полусибсов, несущих треххвойные брахибласты, и скоростью роста материнского клона ( $r = 0,46$ ), а также биометрическими показателями сеянцев ( $r = 0,52 \dots 0,63$ ) может оказаться весьма перспективной в практическом плане. Отбор лучших потомств по данному показателю является процессом, направленным в пользу быстрорастущих клонов на ЛСП. Простая механическая сортировка сеянцев в пределах лучших вариантов по высоте стволика приводит к отбору экземпляров преимущественно с признаком треххвойности, большего диаметра, с большим числом почек и боковых побегов, т. е. в целом лучше развитых. Применение такого массового отбора было бы очень полезным стартовым мероприятием при закладке лесосырьевых плантаций с коротким оборотом рубки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев, Л.С. Адаптация разносемядольных растений сосны и ели к внешним условиям среды [Текст] / Л.С. Ковалев, М.С. Ковалев, Г.Б. Рябова. – Южно-Сахалинск, 1992. – 26 с. – Деп. в ВИНТИ 17.03.92, № 895-В92.
2. Маслаков, Е.Л. О возможности ранней диагностики быстрорастущих деревьев-лидеров [Текст] / Е.Л. Маслаков, И.А. Маркова, Т.А. Шестакова. – Лесоведение. – 2001. – № 1. – С. 25–31.
3. Маслаков, Е.Л. Ранняя диагностика быстрорастущих деревьев сосны и ели в питомниках и культурах [Текст] / Е.Л. Маслаков // Интенсификация выращивания посадочного материала: тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола, 1996. – С. 83–84.
4. Мордась, А.А. Выращивание сеянцев хвойных пород в теплице с полиэтиленовым покрытием [Текст]: метод. рекомендации / А.А. Мордась. – Л., 1983. – 34 с.
5. Мордась, А.А. Рост и развитие полусибсовых потомств сосны обыкновенной на ранних этапах онтогенеза [Текст] / А.А. Мордась, Б.В. Раевский, Е.В. Акимова // Научные основы селекции древесных растений Севера. – Петрозаводск, 1998. – С. 43–50.
6. Орленко, Е.Г. Ранняя диагностика энергии роста сеянцев сосны обыкновенной разного географического происхождения [Текст] / Е.Г. Орленко, З.С. Поджарова // Лесоведение и лесное хозяйство. – 1980. – Вып. 15. – С. 39–43.
7. Паль, Х. Число семядолей у сосны и ели в Эстонской ССР [Текст] / Х. Паль // Лесоводственные исследования. – Таллин, 1989. – Вып. 23. – С. 39–51.
8. Попов, В.Я. Отбор элитных деревьев сосны обыкновенной [Текст] / В.Я. Попов, Д.Х. Файзулин. – Архангельск, 2001. – 24 с.
9. Попов, В.Я. Ранняя диагностика наследственных свойств плюсовых деревьев сосны и ели [Текст]: метод. рекомендации / В.Я. Попов, В.М. Жариков. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1978. – 14 с.
10. Попов, В.Я. Создание плантаций сосны обыкновенной семенного происхождения на селекционной основе [Текст] / В.Я. Попов, П.В. Тучин, Д.Х. Файзулин, В.М. Жариков. – Архангельск, 2001. – 24 с.
11. Раевский, Б.В. Рост и сохранность географических культур различных видов ели в Карелии [Текст] / Б.В. Раевский, А.А. Ильинов // Лесн. хоз-во. – 2002. – № 6. – С. 37–39.
12. Статкус, В. Анализ однолетнего потомства различных форм сосны обыкновенной [Текст] / В. Статкус // Охрана и рациональное использование генофонда древесных пород и недревесной растительности леса. – Каунас: Гирионис, 1985. – Т. 1. – С. 75–78.
13. Pelecanos, V. Признаки семян и число семядолей у всходов ели на черном профиле «Зееталер Альпен» [Text] / V. Pelecanos // FBVA-Ber., 1988. – № 28. – С. 159–162.
14. Saenz-Rjmero, C. Landscape genetic structure of *Pinus banksiana*: Seedling traits [Text] / C. Saenz-Rjmero, R.P. Guries // Silvae genet. – 2002. – Vol. 51, N 1. – P. 26–35.

Поступила 20.01.06

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

3\*

**Variability and Correlation of Morphological Characteristics  
and Biometric Indices for Scotch Pine and Norway Spruce Seedlings**

Variability and correlation of morphological characteristics and biometric indices of Scotch pine and Norway spruce seedlings have been studied in order to test early diagnostic technique.

---



УДК 630\*176.232.2

*А.И. Горобец, А.П. Максименко*

Горобец Александр Иванович родился в 1960 г, окончил в 1982 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет около 30 печатных работ в области исследования естественных ивовых ценозов, качественных характеристик ивовой фитомассы и плантационного выращивания ивы.



Максименко Анатолий Петрович родился в 1947 г, окончил в 1970 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, директор Краснодарского опытного лесного хозяйства. Имеет около 80 печатных работ в области исследования насаждений естественного и искусственного происхождения, а также облесения земель Краснодарского края.



## **РЕЗУЛЬТАТЫ ПЛАНТАЦИОННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ИВЫ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ**

Приведены результаты обследования ивовой плантации Краснодарского опытного лесного хозяйства. Установлены различия в сохранности и продуктивности культур ряда таксонов ивы, размерах, массе, качественных и технических характеристиках однолетних побегов. Даны рекомендации по хозяйственному использованию ивовых побегов.

*Ключевые слова:* плантация, ива, однолетние побеги, морфометрические параметры, продуктивность.

Род ива (*Salix* L.) отличается значительным видовым разнообразием, обширным ареалом и многосторонним хозяйственным применением фитомассы [1, 10]. В частности, побеги ряда видов и гибридов ивы широко используются в лозоплетении. Значительный опыт плантационного выращивания и переработки лозовых ив накоплен в лесной зоне [5, 8, 9] и Центральной лесостепи [3, 4]. Эксперимент по выращиванию и переработке ивовой фитомассы проводится также в Краснодарском опытном лесном хозяйстве. Здесь создана и эксплуатируется плантация ивы общей площадью 63,4 га. Однолетние побеги (лоза) и побеги 2–4-летнего возраста (мебельная палка) перерабатываются в цехах тонкого плетения и плетеной мебели, где производится более 100 наименований продукции [6, 7].

Плантация заложена в пойме р. Кубани на лугово-черноземной почве. По механическому составу почва на участке относится к тяжелосуглинистым и легкоглинистым разновидностям. Мощность гумусового горизонта 79 ... 108 см. Водно-физические свойства удовлетворительные, профиль почвы слабо уплотнен, обладает достаточной порозностью. Содержание гумуса невысокое (2-3 %), обменного калия высокое и очень высокое (20 ... 40 мг на 100 г почвы), подвижного фосфора низкое (0,8 мг на 100 г почвы).

Реакция почвенной среды слабощелочная (рН в КС1 7,45 ... 7,97). Плотный остаток водной вытяжки по профилю не превышает 0,13 %, почва не засолена и не солонцевата. Уровень грунтовых вод 140 ... 180 см. По типологической сетке П.С. Погребняка тип лесорастительных условий – свежие переходные к влажным груды. По отношению к биоэкологическим особенностям ивы территории плантации отличаются тяжелым механическим составом и недостаточной влагообеспеченностью почвы, а также низкой влажностью и высокой температурой воздуха в летние месяцы. Обеспечение растений гумусом и минеральными элементами близко к оптимальному.

Почву под плантацию подготавливали по системе черного пара. Культуры создавали весной 1984 г. зимними стеблевыми черенками, размещение посадочных мест 0,8 × 0,15 и 2,1 × 0,3 м. Уходы за растениями осуществляли регулярно. В целях эксплуатации ежегодно срезали надземную фитомассу на высоте 3 ... 5 см от поверхности почвы.

При обследовании плантации в декабре 2000 г. мы устанавливали реакцию ив на лесорастительные условия Краснодарского края, а также оценивали пригодность фитомассы для лозоплетения. Программа исследований включала определение таксономической принадлежности культиваров, морфометрических, весовых параметров и технических характеристик однолетних осевых побегов ивы (ивовой лозы), продуктивности плантации.

Таксономическую принадлежность культиваров устанавливали по внешним признакам растений с использованием определителей ив [8, 10]. Морфометрическими параметрами, определяющими качественные характеристики используемых в лозоплетении однолетних осевых побегов ивы, служат их диаметр, высота, протяженность, в том числе неветвящейся части, диаметр сердцевин. Диаметры побега и его сердцевин измеряли на высоте 0,3 м с точностью до 0,01 см, диаметр побега – штангенциркулем, сердцевин – измерительной лупой. Высоту, протяженность побега общую и неветвящейся части измеряли мерной рейкой с точностью до 1 см. Для оценки технических характеристик лозы определяли ее гибкость и вязкость по методике А.Н. Глаголева [2]. Гибкость представляет собой способность лозы при изменении ее формы не деформироваться и не ломаться, вязкость – сопротивление изгибу.

Продуктивность плантации рассчитывали по данным о массе одного побега и числе побегов на единице площади. Массу побегов ивы определяли в свежезаготовленном состоянии, взвешивая на аналитических весах с точностью до 0,1 г. Число осевых побегов на единице площади устанавливали по первоначальной густоте посадки, сохранности растений и числу побегов в кусте [11].

Полученные в результате обследования плантации выборочные совокупности обрабатывали методами математической статистики в табличном процессоре Excel на IBM-486. Для каждого варианта наблюдений рассчитывали среднюю арифметическую величину ( $M$ ) и ее ошибку ( $\pm m$ ). Производили сравнение выборок по критерию Стьюдента. Достоверность выводов соответствует 95 %-му доверительному уровню.

На основании данных о морфометрических параметрах ивовых побегов рассчитывали качественные характеристики лозы. Процент сердцевинны определяли как отношение диаметра сердцевинны побега к его диаметру на высоте 0,3 м, процент неветвящейся части побега – как отношение ее протяженности к общей, сбег побега – как отношение его диаметра к протяженности, коэффициент изгиба – как отношение протяженности побега к его высоте.

Констатируется, что на плантации Краснодарского опытного лесного хозяйства испытываются распространенные в лозоплетении культивары ивы: американская (*Salix x americana* Hort.), прутовидная (*S. viminalis* L.), пурпурная (*S. purpurea* L.) и каспийская (*S. caspica* Pall.). Первостепенной реакцией на климат Краснодарского края и почвенно-грунтовые условия территории плантации является различная сохранность культур разных таксонов ивы. Минимальная сохранность отмечена на плантации ивы прутовидной (80,3 %), на плантациях ивы пурпурной, каспийской и американской она значительно выше, соответственно 89,4; 83,1 и 82,5 %. Следовательно, к подобным местообитаниям наиболее приспособлена ива пурпурная, наименее – прутовидная.

Таксономическая принадлежность культиваров, в связи с генетически обусловленной разной интенсивностью их роста, оказывает влияние на накопление фитомассы. Наибольшая масса побега (47,9 г) отмечена у ивы прутовидной, наименьшая (33,6 г) – у пурпурной (табл. 1). У ивы американской (36,6 г) и каспийской (35,4 г) она практически такая же, как у пурпурной (фактическое значение критерия Стьюдента меньше стандартного). Недостоверны также различия массы побегов ивы пурпурной в исследованных вариантах размещения растений.

Площадь питания растений наиболее значительно влияет на число осевых побегов в кустах ивы. Так, ива пурпурная при площади питания 0,63 м<sup>2</sup> (размещение 2,1 × 0,3 м) имела в среднем 15,6 побега в одном кусте, а при значительно меньшей площади питания (0,12 м<sup>2</sup>, размещение 0,8 × 0,15 м) – 5,4 побега. При одинаковом размещении растений побегов больше в кустах ивы пурпурной. Различия статистически достоверны между всеми вариантами наблюдений.

Таблица 1

**Морфометрические и весовые параметры однолетних осевых побегов ивы**

Параметр	Размещение 0,8 × 0,15 м			Размещение 2,1 × 0,3 м	
	Американская	Прутовидная	Пурпурная	Пурпурная	Каспийская
Число побегов в кусте, шт.	4,2±0,1	4,8±0,1	5,4±0,1	15,6±0,3	14,7±0,3
Диаметр побега, см	0,68±0,01	0,75±0,01	0,63±0,01	0,67±0,01	0,67±0,01

Диаметр сердцевины, см	0,12±0,01	0,23±0,01	0,20±0,01	0,21±0,01	0,21±0,01
Высота, см	176,6±3,5	172,1±3,9	185,2±2,8	198,8±3,7	198,5±2,8
Протяженность, см:					
общая	177,8±3,5	173,4±4,0	187,9±2,8	205,0±4,0	200,7±2,9
неветвящейся части, см	174,9±3,5	145,5±4,7	184,1±4,5	200,5±4,4	197,0±3,1
Масса, г	36,6±1,3	47,9±2,0	33,6±1,0	36,3±1,3	35,4±1,2

В лозоплетении ценятся побеги большой протяженности и малого диаметра. Наиболее качественны побеги ивы пурпурной при густоте посадки  $2,1 \times 0,3$  м: при диаметре 0,67 см по их протяженности (205,0 см) она превосходит все остальные культивары. Наименее ценны побеги ивы прутовидной, имеющие больший диаметр (0,75 см) и меньшую протяженность (173,4 см). Ива каспийская по диаметру (0,67 см) и протяженности (200,7 см) побегов не отличается от пурпурной, американская по диаметру (0,68 см) близка к пурпурной, а по протяженности (177,8 см) – к прутовидной.

Продуктивность плантации определяется суммарной массой побегов и их числом на единице площади. Максимальная масса побегов (14,5 т/га) отмечена на плантации ивы прутовидной, наибольшее их число (378,6 тыс. шт./га) – у ивы пурпурной при размещении  $0,8 \times 0,15$  м (табл. 2). В варианте посадки  $2,1 \times 0,3$  м у ивы пурпурной выход лозы значительно меньше: 198,3 тыс. шт./га, общая масса 7,2 т/га. Ива каспийская менее продуктивна (193,9 тыс. шт./га, общая масса 6,8 т/га) по сравнению с пурпурной, что вызвано меньшим числом побегов в одном кусте. При размещении  $0,8 \times 0,15$  м минимальная продуктивность наблюдается на плантации ивы американской: 271,8 тыс. шт./га, общая масса 9,9 т/га.

Практика лозоплетения предъявляет ряд требований к качественным и техническим характеристикам ивовых побегов. К первым относятся процент сердцевины от диаметра побега, процент неветвящейся части побега, сбежистость побега, коэффициент изгиба, к техническим – гибкость и вязкость побега.

Процент сердцевины побега влияет на его гибкость и вязкость. Так, побеги ивы американской с наименьшей сердцевиной (18 % от диаметра) отличаются максимальной гибкостью (0,49 см) и минимальной вязкостью (103 г). Побеги ивы прутовидной, пурпурной и каспийской с

Таблица 2

**Продуктивность плантации, качественные и технические характеристики лозы**

Характеристика	Размещение $0,8 \times 0,15$ м			Размещение $2,1 \times 0,3$ м	
	Американская	Прутовидная	Пурпурная	Пурпурная	Каспийская
Суммарная масса побегов на 1 га, т	9,9	14,5	12,7	7,2	6,8

Число побегов на 1 га, тыс. шт.	271,8	302,3	378,6	198,3	193,9
Процент сердцевины	18	31	32	31	31
Гибкость побега, см	0,49	1,31	0,68	0,70	0,65
Вязкость побега, г	103	134	126	127	124
Процент неветвящейся части побега	98	84	98	98	98
Сбег побега	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003
Коэффициент изгиба	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01

большой сердцевиной (31 ... 32 %) характеризуются и худшими показателями гибкости и вязкости. Наименьшая гибкость (1,31 см) и наибольшая вязкость (134 г) отмечены у ивы прутовидной. Побеги ивы пурпурной и каспийской с незначительными различиями в проценте сердцевины близки по гибкости и вязкости, однако просматривается тенденция к большей гибкости и меньшей вязкости побегов ивы каспийской.

Наибольшая неветвящаяся часть побега (98 % от его общей протяженности) отмечается у ивы американской, пурпурной и каспийской, наименьшая (84 %) – у прутовидной. Сбежистость побегов (0,003 ... 0,004) и коэффициент изгиба (1,01) у всех культиваров незначительны и имеют близкие значения.

Результаты проведенных исследований позволяют оценить влияние таксономической принадлежности культиваров и размещения растений на продуктивность и технические характеристики ивовой фитомассы в пойменных условиях Краснодарского края. При равных условиях выращивания наибольшую фитомассу (14,5 т/га) накапливает ива прутовидная. Ива пурпурная при несколько меньшей массе побегов (12,7 т/га) обладает более высоким побегообразованием и лучшими техническими характеристиками лозы. Ива каспийская по этим показателям практически не отличается от пурпурной. Ива американская имеет наименьшую продуктивность фитомассы (9,9 т/га при размещении растений 0,8 × 0,15 м), но наилучшие технические характеристики лозы. Из двух исследованных нами вариантов размещения растений оптимальным является 0,8 × 0,15 м. При такой схеме посадки наблюдаются максимальный выход лозы с единицы площади и достаточно хорошие ее технические характеристики. Следовательно, в пойменных условиях Краснодарского края на лозовых плантациях можно рекомендовать следующий ассортимент культиваров: для выращивания мебельной палки и однолетних побегов на лозовую ленту – ива прутовидная; лозы средних размеров – пурпурная и каспийская; тонкой лозы – американская. Рекомендуемое размещение растений 0,8 × 0,15 м, при котором получают более высокий, чем при редком (2,1 × 0,3 м), выход фитомассы с хорошими техническими характеристиками. В целом пойменные условия Краснодарского края пригодны для плантационного выращивания ивы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анциферов, Г.И. Ива [Текст] / Г.И. Анциферов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 101 с.
2. Глаголев, А.Н. К методике исследования технических свойств прута корзиночных ив [Текст] / А.Н. Глаголев // Природа. – 1938. – № 5. – С. 72–78.
3. Горобец, А.И. Особенности роста ивовых плантаций в зависимости от условий выращивания и свойств культивара [Текст] / А.И. Горобец // Развитие научного наследия акад. Н.И. Вавилова: тез. Междунар. науч. конф. – Саратов, 1997. – Ч. 2. – С. 131–133.
4. Горобец, А.И. Продуктивность плантации прутьевых ив в Воронежской области [Текст] / А.И. Горобец // Лесн. журн. – 1994. – № 4. – С. 57–60. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Кушценская, С.Ю. Рекомендации по созданию ивовых прутьяных плантаций в условиях Ивантеевского питомника [Текст] / С.Ю. Кушценская // Науч. тр. / Моск. гос. ун-т леса. – 2000. – № 303. – С. 182–185.
6. Максименко, А.П. Выращивание ивы и использование ее для производства товаров народного потребления (на базе Краснодарского опытного мехлесхоза) [Текст]: метод. рек. к республ. науч.-практ. семинару «Перспективы развития и поставки товаров народного потребления» / А.П. Максименко, И.В. Веселов, И.В. Налитов, Д.В. Клименко. – Краснодар: Мин-во лесн. хоз-ва РСФСР, Краснодар. ЛТПО, Краснодар. краев. правление Всесоюз. лесн. НТО, Краснодар. дом науки, 1990. – 26 с.
7. Максименко, А.П. Плантационное выращивание и использование биомассы ивы [Текст] / А.П. Максименко. – Краснодар: Кубанский учебник, 2002. – 278 с.
8. Морозов, И.Р. Определитель ив СССР и их культура [Текст] / И.Р. Морозов. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – 254 с.
9. Правдин, Л.Ф. Ива, ее культура и использование [Текст] / Л.Ф. Правдин. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 168 с.
10. Скворцов, А.К. Ивы СССР: Систематический и географический обзор [Текст] / А.К. Скворцов. – М.: Наука, 1968. – 262 с.
11. Справочник лесничего [Текст] / В.Д. Новосельцев, С.Г. Сеницын, Г.М. Киселев [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 399 с.

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

Краснодарское опытное  
лесное хозяйство

Поступила 16.05.05

*A.I. Gorobets, A.P. Maksimenko*

### **Results of Willow Plantation Growing in Krasnodar Krai**

The survey results of a new willow plantation of Krasnodar Experimental Forestry Unit are provided. The differences in safety and productivity of willow taxons, size, mass, qualitative and technical characteristics of one-year sprouts are set. The recommendations regarding the economic use of willow sprouts are given.

---

УДК 630\*228.7:582.632.2(234.84)

***В.Г. Краснов, В.Ф. Краснова, И.А. Алексеев, А.С. Яковлев***

Краснов Виталий Геннадьевич родился в 1976 г., окончил в 1999 г. Марийский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Имеет 15 печатных работ по изучению санитарного состояния и методов искусственного восстановления дубрав в Среднем Поволжье.



Краснова Валентина Феликсовна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Марийский государственный технический университет, ассистент кафедры деревообрабатывающих производств МарГТУ. Область научных интересов – рациональная раскряжевка и раскрой фаутной древесины дуба.



Алексеев Иван Алексеевич родился в 1928 г., окончил в 1950 г. Поволжский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты Марийского государственного технического университета, почетный профессор МарГУ, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный лесовод Чувашской Республики, почетный академик РАЕН, академик МАНЭБ и ИТА ЧР. Имеет более 300 научных трудов по исследованию санитарного состояния лесов основных лесообразующих пород.



**САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ  
ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ**

Отмечены доминирующие факторы, определяющие производительность и влияющие на санитарное состояние культур дуба черешчатого. Обоснована необходимость создания смешанных хвойно-широколиственных насаждений на вырубках.

*Ключевые слова:* санитарное состояние, фаутность, дуб черешчатый, грибные болезни, вредоносность.

Дубовые насаждения естественного происхождения в северо-восточной части Приволжской возвышенности находятся в состоянии депрессии, сменяются малоценными насаждениями. Их плохое санитарное состояние вызвано целым комплексом неблагоприятных факторов, влияние которых не до конца еще познано и раскрыто.

Деградация и массовое усыхание дубрав в большей или меньшей степени отмечены во многих европейских странах. Причины этого явления исследователи объясняют по-разному. Преобладающая гипотеза – это синергетическое действие вредных биотических и абиотических факторов:

глобальные изменения климатических условий; загрязнение окружающей среды; вредные насекомые и заболевания [3, 9].

В России отдельные факты усыхания дубрав отмечались еще в середине XIX столетия, однако не носили массового и повсеместного характера. За последние 100 лет на территории нашей страны они повторялись примерно 7 раз с периодичностью в 25 ... 30 лет [4]. Всего в лесоводственной литературе зарегистрированы 4 волны массового усыхания дубрав. Этот процесс описали в своих работах многие ученые [7, 8].

При выполнении программы исследований нами изучено состояние дубовых насаждений в лесхозах Чувашии. Заложены опытно-производственные объекты с соблюдением требований ГОСТ 16128–70 и ОСТ 56–69–83. Таксационные исследования проведены по методикам А.Г. Мошкалева, П.М. Верхунова, И.А. Алексеева [2]. Кроме известных методик лесопатологических обследований использован метод, разработанный И.И. Журавлевым [5].

Преобладающими типами леса в Приволжской возвышенности являются дубравы кленово-липняково-снытьевые и осоково-снытьевые, характеризующиеся в основном II классом бонитета. В них подбирали наиболее характерные участки культур дуба разных состава и схем создания.

Пробные площади для лесопатологической характеристики насаждений закладывали в типичных участках в процессе маршрутной глазомерной таксации дубрав. На них визуально фиксировали по принятым параметрам все встречающиеся на деревьях дуба (и его спутников) болезни и повреждения древесины. На 25 пробных площадях (из них 5 постоянных) исследованы 2524 дерева с подробным описанием всех пороков. Общая площадь обследования – 12,5 га.

Индекс ухудшения санитарного состояния определяли по формуле предпочтительных чисел (ГОСТ 8032–84)  $R \sqrt{2}$  (1 ... 100) с учетом значимости влияния на состояние древостоя: здоровые – 1; условно здоровые – 2,5; ослабленные болезнями и случайными повреждениями, обреченные на усыхание – 16; той же категории, но вследствие угнетения – 10; усыхающие от болезней и повреждений – 40, из-за угнетения – 25; свежесохшие – соответственно 100 и 63; старый сухостой – 25 и 16.

Средний индекс ухудшения санитарного состояния ( $I_{cp}$ ) вычисляли по формуле

$$I_{cp} = \frac{\sum(I_i V_i)}{V_{об}}$$

где  $I_i$  – индекс  $i$ -й категории состояния ( $I = 1 \dots 7$ );

$V_i$  – запас деревьев  $i$ -й категории;

$V_{об}$  – общий запас деревьев данной породы на пробной площади.

Для оценки состояния насаждений средний индекс сравнивали с нормативным. При  $I_{cp} < 1,25$  санитарное состояние считается выше нормативного и хорошим; 1,26 ... 1,50 – соответствует нормативному; 1,51 ... 4,00



– неудовлетворительное; 4,1 ... 8,0 – плохое; 8,1 ... 16,0 – насаждение разрушающееся; выше 16,0 – разрушенное (погибшее при полноте менее 0,4).

Коэффициент жизнеспособности ( $Q$ ) определяли по формуле

$$Q = \frac{\left( V_1 + \frac{V_2}{2} \right) 100}{V_{об}},$$

где  $V_1$  – запас деревьев 1-й категории состояния (здоровые деревья);

$V_2$  – то же 2-й категории (условно здоровые);

$V_{об}$  – общий запас деревьев данной породы на пробной площади (кроме старого сухостоя).

При коэффициенте жизнеспособности 90,0 ... 100 насаждение имеет отличное санитарное состояние; 61,0 ... 89,9 – хорошее; 50,0 ... 60,9 – удовлетворительное; 30,0 ... 49,9 – неудовлетворительное; менее 30,0 – плохое.

Проведенные исследования показали, что дубравы естественного и искусственного происхождения имеют низкую продуктивность (см. таблицу). Средний прирост по запасу составляет 1,1 ... 2,6 м<sup>3</sup>/га, что значительно ниже нормативного (по Т.А. Куликовой [6] – 4,6 м<sup>3</sup>/га). Причиной является неудовлетворительное санитарное состояние дубрав, которое, начиная со II класса возраста, значительно ухудшается. С увеличением в составе дубовых древостоев доли липы и хвойных пород отмечается более или менее выраженная тенденция к повышению продуктивности насаждений.

По И.А. Алексею [2], состояние дубовых насаждений нагляднее всего характеризуется коэффициентом жизнеспособности ( $Q$ ) и индексом ухудшения состояния ( $I$ ). По этим показателям в насаждениях естественного и искусственного происхождения также наблюдается ухудшение состояния с возрастом: отличное в I классе возраста ( $I = 1,15$ ) и неудовлетворительное в старших классах ( $I = 5,49$  ... 8,20). Из сопутствующих пород лучшим состоянием отличаются хвойные породы и липа мелколистная (у сосны и ели  $I = 0$  ... 2,5, т. е. хорошее; у липы  $I = 0,91$  ... 3,23).

Согласно действующим «Санитарным правилам в лесах РФ», состояние дерева определяется комплексом факторов, среди которых основным является внешний вид кроны (ажурность и окраска), дополнительными – суховершинность, сухие ветви, повреждение стволовыми насекомыми и т. д. Исследования показали, что этот набор факторов не обеспечивает полной и объективной оценки состояния деревьев. Нами дополнительно выделен ряд признаков жизнеспособности и хозяйственной ценности деревьев, степень распространения и вредоносность которых не нашли должного освещения в обширной литературе о состоянии дубрав.

Многовершинность чаще встречается в культурах, созданных на землях из-под сельхозпользования по схеме 4 × 0,75 м, что объясняется частыми повреждениями деревьев домашними животными.

Водяные побеги преобладают на лесокультурных участках, созданных рядовым способом с размещением 3 × 0,75 м (20,0...57,3 %) и 5 × 0,75 м (25,0...53,3 %), и в насаждениях естественного происхождения (6,6...44,0 %).



## Продуктивность культур дуба и естественных насаждений

№ пробной площади	Состав	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Густота, шт./га	Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> /га	Полнота	ТЛЮ, класс бонитета	Запас, м <sup>3</sup> /га*			Средний прирост, м <sup>3</sup> /га*
									всего	растущего леса	наличного отпада	
Лесные культуры на вырубках												
Расстояние между рядами 3 м												
11	65Д17Вз12Кл6Б	87	21,9	30,8	167	15,47	0,30	D <sub>2</sub> , II	<u>127</u> 104	<u>82</u> 64	<u>45</u> 40	<u>1,45</u> 1,19
Расстояние между рядами 5 м												
10	14Д74Б4Кл8Лп	77	22,2	30,7	161	19,46	0,60	D <sub>2</sub> , II	<u>199</u> 45	<u>172</u> 25	<u>27</u> 20	<u>2,58</u> 0,58
16	90Д8Кл2Вз+Б	80	19,4	29,0	213	15,93	0,48	D <sub>2</sub> , II	<u>150</u> 149	<u>121</u> 120	<u>29</u> 29	<u>1,88</u> 1,86
Созданные площадками												
12	34Д39Яс4Вз21Ос2Лп	57	17,3	34,5	198	14,56	0,45	D <sub>2</sub> , II	<u>106</u> 58	<u>80</u> 32	<u>26</u> 26	<u>1,85</u> 1,00
17	61Дв17Дн7Вз6Кл9Лп	72	18,3	25,9	216	10,92	0,30	D <sub>2</sub> , II	<u>79</u> 40	<u>57</u> 11	<u>22</u> 29	<u>1,09</u> 0,55
Лесные культуры на землях, вышедших из-под сельхозпользования. Расстояние между рядами 4 м												
9	82Д5Вз9Кл4Р6	77	22,0	35,2	115	10,44	0,30	D <sub>2</sub> , II	<u>97</u> 88	<u>83</u> 75	<u>14</u> 13	<u>1,25</u> 1,14
22	10Д	72	18,9	28,8	209	15,09	0,52	D <sub>2</sub> , II	140	126	14	1,94
Насаждения естественного происхождения												

15	44Д55Лп1Кл	97	21,5	34,6	416	27,50	0,85	D <sub>2</sub> , II	<u>298</u>	<u>270</u>	<u>28</u>	<u>3,07</u>
									155	127	28	1,59
5	62Лп18Д18Вз2Кл	52	14,2	25,3	409	13,47	0,64	D <sub>2</sub> , II	<u>130</u>	<u>112</u>	<u>18</u>	<u>2,50</u>
									31	15	16	0,60
25	49Д11Лп11Б10Е 8С6Ос3Вз2Кл	100	21,4	42,3	290	41,13	1,20	С <sub>2</sub> , III	<u>422</u>	<u>420</u>	<u>2</u>	<u>4,22</u>
									242	241	1	2,42

\* В числителе запас и средний прирост насаждений, в знаменателе – в том числе дуба.

Появление трещин вызвано воздействием морозов и сухобокостью, возникающей при обдирах коры и затесках. Отдельно нами выделены трещины усушки у сухостоя. Морозные трещины в смешанных насаждениях встречались чаще, чем в чистых, где поврежденные деревья быстрее усыхают и изымаются из состава рубками ухода. Деревьев, поврежденных молнией, больше в чистых насаждениях, что обусловлено их меньшей защищенностью.

Закомелистость и сбежистость деревьев в основном характерны для смешанных насаждений. Овальная форма закомелистости часто является признаком скрытой комлевой гнили от *Fistulina hepatica* Fr. и *Daedalea quercina* (L.) Fr.

Другие пороки составляют: пасынок – 6,0 ... 40,0 %, открытая прорость – 0 ... 3,1 %, смещенная сердцевина – 2,2 ... 46,3 %, двойная сердцевина – 4,4 ... 35,7 %, наклон волокон – 8,8 ... 32,0 %, сухобокость – 9,0 ... 60,8 %, тяговая древесина – 0 ... 10,0 %.

Категория санитарного состояния деревьев больше всего зависит от фитопатогенных и энтомогенных повреждений. Грибные болезни начинают поражать культуры дуба с момента их создания. В самом молодом возрасте, начиная с первого года, они подвержены заболеванию мучнистой росой (*Microsphaera alphitoides* Griff. et Maubl.), которое зависит от появления вторых и третьих побегов. Пораженность однолетних культур этим грибом в 2001 г. составила 18, в 2002 г. – 25 %.

Бурая пятнистость листьев дуба (*Gloeosporium quercinum* West. и *Septoria quercina* Desmoz.) часто встречается в молодых культурах дуба. Возбудитель бурой пятнистости переходит на желуди, вызывая их антракноз.

Дубовый трутовик (*Inonotus dryophilus* (Berk) Murr.) поражает от 2,21 до 10,9 % деревьев. Четкой зависимости его распространения от состава и возраста насаждений не наблюдается. Дубовый ложный трутовик (*Phellinus robustus* (Karst.) Bourd. et Galz.) встречается в насаждениях от 2,1 до 37,5 %, в среднем 10,13 %. Серно-желтый трутовик (*Laetiporus sulphureus* (Bull.) Bond. et Sing.) является дуплообразователем на 0 ... 4,2 % деревьев (в среднем 1 %), что связано с высоким средним возрастом (до 100 лет) исследованных нами насаждений. В целом этим грибом поражено от 0 до 15,6 % деревьев. Четкой зависимости от состава и типов культур не наблюдается. С возрастом же встречаемость этих грибов увеличивается.

Дубовая губка (*Daedalea quercina* (L.) Fr.) поражает до 20,0 % (в среднем 9,44 %) деревьев дуба. Очень распространен (до 37,2, в среднем 22,9 %) желтый стереум (*Stereum hirsutum* (Willd.) Pers.), вызывающий суховершинность деревьев и блокаду поросли дуба на пнях.

Поражение грибом *Stereum frustulosum* (Fr.) связано с воздействием морозов 1978/79 гг. На отдельных участках пестрая, крупно-ямчатая гниль стволов достигает 100 % [1], но при внешнем осмотре не обнаруживается. В последующем на этих участках появляется серно-желтый трутовик, который вызывает красно-бурную ядровую гниль. Настоящим трутовиком (*Fomes fomentarius*

(Fr.) Kickx.) поражено до 15,0 % деревьев дуба (в среднем 2,24 %). Большой вред культурам на нелесных площадях приносит гриб *Vuilleminia comedens* Maïge., вызывающий некроз ветвей и ствола (от 0 до 12,5 %, в среднем 1,46 %). После проходных рубок в культурах большую опасность для хвойной примеси дуба представляет опенок осенний (*Armillaria mellea* (Vahl. ex Fr.) Karst.).

У дуба довольно часто встречается поперечный раковый наплыв, который связан с воздействием пестрой дубовой тли (*Lachnus roboris* L.) и вызывается бактерией *Pseudomonas quercus* E. Smith. Полушаровидные или кольцевые раковые наплывы на стволе и ветвях дуба развиваются в большом количестве на одном и том же стволе. Ими поражено от 0 до 13,6 % деревьев (в среднем 4,74 %), больше всего в чистых культурах (до 60 ... 80 %).

Наиболее часто встречающимся пороком биотического происхождения является червоточина. В древесине растущих и выпадающих деревьев поселяются различные насекомые: жуки-усачи, златки, короеды, долгоносики, они распространены равномерно и независимо от породного состава культур. Дубовый заболонник (*Scolytus intricatus* L.) повреждает от 0 до 32,9 %, большой (*Cerambyx cerdo* L.) и малый (*C. scopolii* L.) дубовые усачи – от 0 до 44,4 % стволов усыхающих и сухостойных деревьев. В некоторые годы существенными оказываются скелетирование и объедание листьев дуба разными вредителями.

Приведенные данные показывают, что на категорию состояния деревьев влияет множество различных факторов. Для определения общей картины состояния культур дуба по унифицированной методике проф. И.А. Алексеева был произведен перерасчет всех встречающихся пороков в условную фаутность (в переводе на полное разрушение ствола). Сюда входит и биотическая фаутность, которая характеризует снижение запаса древесины из-за биотических факторов (болезни, насекомые и т. д.).

Фаутность дубовых насаждений зависит от их состава и возраста. Чем выше возраст, тем больше биотическая фаутность (в 19 лет – 123, в 37 лет – 193, в 87 лет – 214  $\text{дм}^3/\text{м}^3$ ).

Спутники дуба страдают меньше по сравнению с главной породой (в 97-летних культурах общая фаутность дуба 294, липы – 78  $\text{дм}^3/\text{м}^3$ ). Отмечено сильное поражение дуба в насаждениях с черемухой (271  $\text{дм}^3/\text{м}^3$ ) и ясенем (331  $\text{дм}^3/\text{м}^3$ ). Из сопутствующих пород большая биотическая фаутность наблюдается у ясеня, осины, клена и вяза, поэтому они не всегда могут выполнять функцию подгона и защищать деревья дуба.

Наши опытные работы показали, что общее состояние дубрав улучшается при участии в составе насаждений хвойных пород, которые меньше повреждаются морозом, имеют незначительное количество общих болезней с дубом, повышают продуктивность древостоев. Поэтому целесообразно в состав дубовых насаждений вводить лиственницу сибирскую или ель европейскую. Для выращивания таких смешанных искусственных насаждений необходимо разработать технологические схемы и рекомендации.

В связи с неудовлетворительным санитарным состоянием в дубравах особенно часто встречаются усохшие деревья, которые плохо используются

производством. При проведении санитарных рубок наравне с уже усохшими необходимо выбирать и обреченные экземпляры, которые еще могут найти применение в деревообрабатывающей промышленности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, И.А.* Распространение и характеристика внутренней заболони дуба черешчатого в Среднем Поволжье [Текст] / И.А. Алексеев, А.Х. Газизуллин, В.И. Пчелин, А.С. Яковлев // Эколог. вестн. Чувашии. – 1996. – Вып. 13. – С. 101–103.
2. *Алексеев, И.А.* Определение нормальных отходов основных древесных пород [Текст] / И.А. Алексеев, В.А. Бочкарев, Н.Б. Муравьева. – Йошкар-Ола, 1981. – 6 с. – (Информ. листок / Марийск. ЦНТИ; № 86-81). – 7 с.
3. *Вакин, А.Т.* Грибные болезни и другие пороки дубрав по исследованиям в Чувашской АССР [Текст] / А.Т. Вакин. – М.: Гослестехиздат, 1932. – 127 с.
4. *Воронцов, А.И.* Роль лесопатологических факторов в усыхании дубрав на Русской равнине [Текст] / А.И. Воронцов // О мерах по улучшению состояния дубрав в европейской части СССР: тез. докл. науч.-практ. совещ., авг. 1973 г. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. – С. 9–13.
5. *Журавлев, И.И.* Диагностика болезней леса [Текст] / И.И. Журавлев. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 192 с.
6. *Куликова, Т.А.* Оценка продуктивности лесов [Текст] / Т.А. Куликова. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 152 с.
7. *Маслов, А.Д.* Состояние дубрав Калининградской области [Текст] / А.Д. Маслов, И.А. Комарова, Ю.А. Сергеева // Лесн. хоз-во. – 2002. – № 3. – С. 48–50.
8. *Положенцев, П.А.* О некоторых причинах отмирания дубрав в Чувашской АССР [Текст] / П.А. Положенцев, И.М. Саввин // Лесн. хоз-во. – 1974. – № 1.
9. *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 26.10.06

*V.G. Krasnov, V.F. Krasnova, I.A. Alekseev, A.S. Yakovlev*

#### **Sanitary State of Artificial Stands of English Oak in Middle Povolzhje**

The dominant factors determining the productivity and influencing the sanitary state of the English oak are pointed out. Necessity of establishing mixed coniferous-deciduous stands on the cutting areas is substantiated.

УДК 630\*23(477)

*В.П. Шлапак*

### **ФИТОМАССА КОРНЕЙ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ В СВЕЖИХ СУБОРЯХ И СУДУБРАВАХ**

В условиях Черкасского бора установлены закономерности формирования массы корней сосны в зависимости от глубины их распространения, возраста культур и типа условий местопроизрастания.

*Ключевые слова:* культуры сосны, корни, фитомасса, возраст, тип условий местопроизрастания, Черкасский бор.

В истории лесного хозяйства Украины одно из видных мест занимает пристепной Черкасский бор [7, 12]. Накоплен большой лесокультурный опыт, однако в лесоводственной литературе он освещен недостаточно.

Нами изучена фитомасса корней в культурах сосны свежих суборей и судубрав, что дает возможность частично восполнить этот пробел. Сосна, обладающая большой пластичностью корневой системы, является практически единственной лесообразующей породой на очень сухих и бедных элементами питания незадернелых песках.

Изучению роста, формирования фитомассы корневых систем сосны в различных условиях местопроизрастания, посвящены многочисленные исследования [1–3, 5, 6, 8–11, 13]. Д.П. Торопогицким [8] установлено, что с увеличением глубины предпосадочной обработки почвы под культуры сосны на Нижнеднепровских песках распространение корней возрастает. В то же время В.П. Головащенко и М.В. Юр [13], изучая влияние обработки почвы в условиях свежей субори Боярской лесной опытной станции на корненаселенность 6-летних культур, установили, что даже глубокая (50 ... 60 см) безотвальная вспашка не оказывала положительного влияния на характер формирования и распространения корней сосны. Такие, казалось бы взаимоисключающие, выводы можно объяснить физическими свойствами песчаных почв в каждом отдельном случае. Однако бесспорно, что предпосадочная обработка почвы вызывает лишь кратковременное улучшение ее физических свойств. Поскольку в песчаных почвах содержание гумуса и илистых частиц незначительно, после первого глубокого промывания (дожди) или весеннего снеготаяния наблюдается сильное уплотнение почвы и ее объемная масса приближается к исходной при любом способе обработки почвы. С учетом этого Б.И. Логгинов, М.И. Гордиенко и Т.В. Дубинин [4] указывали на нежелательность рыхления почвы в междурядьях лесных культур, созданных на слаборазвитых бедных песчаных почвах, так как в таких условиях физиологически активные корни сосны, сосредоточенные в верхнем 10–20-сантиметровом слое, сильно повреждаются. По степени заселения почвенных горизонтов корнями культивируемых видов можно



судить об устойчивости культур, их благонадежности и способности выжить в случае резкого изменения условий среды.

Для оценки корненошенности почвы в насаждениях Черкасского бора нами проведен учет массы корней на шести пробных площадях в свежей субори ( $B_2$ ) и на трех в свежей судубраве ( $C_2$ ), повторность 3-кратная. Массу корней учитывали в монолитах объемом  $0,025 \text{ м}^3$  ( $0,5 \times 0,5 \times 0,1 \text{ м}$ ) с учетом генетических горизонтов почвы глубиной до 2,6 м. После отбора и отмывки корни делили на две фракции: физиологически активные диаметром до 2 мм и более 2 мм, куда входили все проводящие. Одновременно в верхних горизонтах почвы учитывали массу корней травянистых растений.

Оценивая количественные характеристики (т/га) массы корней в культурах сосны состава 10С и возраста 30 ... 110 лет, находим, что общая масса корней как в единице объема почвы, так и по площади (1 га) в границах корнеобитаемой толщи почвы (2,6 м) с возрастом увеличивается в  $B_2$  и  $C_2$  (табл. 1). При общей тенденции увеличения эти изменения в свежей судубраве выражены более существенно, чем в субори. Если в свежей субори общая масса корней на 1 га в культурах возраста 34 года составляет 7,79, а 74 года – 9,71 т/га, то в судубравах в 30 лет – 8,89; 55 лет – 22,43; 110 лет – 24,39 т/га.

Распределение физиологически активных корней имеет обратную зависимость от возраста культур: по мере старения древостоя масса корней в единице объема почвы уменьшается. Отмеченные закономерности можно объяснить возрастными стадиями развития древостоя, активностью физиологических процессов в них. Так, в молодом и среднем возрасте культур для обеспечения высокой интенсивности фотосинтеза требуется

Таблица 1

№ пробной площади	Возраст культур, лет	Абс. сухая масса корней в корнеобитаемом слое почвы, т/га / %				
		Сосна		Древесно-кустарниковые породы	Трава	Итого
		≤ 2 мм	> 2 мм			
Свежая субора ( $B_2$ )						
48	34	<u>3,17</u>	<u>4,54</u>	–	<u>0,08</u>	<u>7,79</u>
		40,7	58,3	–	1,0	100,0
50	74	<u>2,81</u>	<u>6,88</u>	–	<u>0,02</u>	<u>9,71</u>
		28,9	70,9	–	0,2	100,0
140	110	<u>1,66</u>	<u>7,45</u>	<u>1,40</u>	<u>2,49</u>	<u>13,0</u>
		12,8	57,3	10,8	19,1	100,0
Свежая судубрава ( $C_2$ )						
81	30	<u>1,97</u>	<u>4,86</u>	<u>1,93</u>	<u>0,13</u>	<u>8,89</u>
		22,2	54,7	21,7	1,4	100,0
82	55	<u>5,34</u>	<u>15,08</u>	<u>1,21</u>	<u>0,80</u>	<u>22,43</u>
		23,8	67,2	5,4	3,6	100,0
39	110	<u>2,07</u>	<u>19,84</u>	<u>1,14</u>	<u>1,34</u>	<u>24,39</u>
		8,5	81,4	4,7	5,4	100,0

активная подача минеральных элементов питания из почвы к фотосинтезирующему аппарату хвои, что может обеспечить только мощная физиологически активная корневая система. Отток ассимилятов из хвои к корням, в свою очередь, способствует развитию и росту последних, с возрастом они переходят из качественного состояния в количественное, т. е. накапливают большую по массе корневую систему.

Исследуя корненаселенность почвы сосной, нельзя не обратить внимание и на интересный факт развития корней злаковых травянистых видов в Черкасском бору. Здесь, в отличие от центральных черноземных областей и таежной зоны, злаковая травяная растительность по мере старения основного древостоя развивается более активно. Если в возрасте культур 34 года масса корней травы в суборевых условиях ( $B_2$ ) составляет всего 1 % от общей массы корней деревьев, кустарников и трав, то в возрасте 110 лет ее участие уже возрастает до 19,1 %. Такая же закономерность, хотя и при значительно меньших запасах, наблюдается и в суборевых условиях ( $C_2$ ).

Оценивая распределение физиологически активной части корней сосны в судубравах и субориях (табл. 2), видим, что в первом типе физиологически активная часть корневой системы формирует значительно больший объем ризосферы, достигающий глубины 1 м. Так, в субориях на глубине 50 ... 100 см в 110-летних культурах расположено всего 19,2 % мелких корней, в судубравах 32,4 % от общей массы физиологически активной части корневой системы. Несмотря на относительную бедность древнеречных песков в целом, в условиях Черкасского бора они представляют благоприятную среду для успешного роста сосны. Высокая скважность и рыхлость песчаного профиля позволяют сосне глубоко проникать в нижележащие горизонты, что спасает ее от недостатка влаги в засушливые годы.

Таблица 2

№ пробной площади	Возраст культур, лет	Содержание абс. сухой массы физиологически активных корней, %, по горизонтам, см			
		0...20	0...50	50...100	> 100
Свежая суборь ( $B_2$ )					
16	20	79,0	83,6	6,0	0,2
48	34	38,8	52,6	18,0	17,1
50	74	36,7	56,7	23,2	4,9
78	85	54,6	69,7	12,2	3,4
140	110	19,6	31,2	19,2	40,9
20	135	10,0	26,9	23,8	19,1
Свежая судубрава ( $C_2$ )					
81	30	52,8	61,6	13,7	15,8
82	55	39,3	51,0	19,0	13,4
39	110	28,0	39,5	32,4	10,5

Таблица 3

Глубина учета, см	Распределение абс. сухой массы корней сосны, %, по глубине распространения на пробных площадях								
	16	48	50	78	140	20	81	82	39
10...20	62,3	25,9	25,8	31,1	13,4	6,3	41,4	27,1	19,0
20...30	16,7	12,9	10,9	23,5	6,2	3,7	11,4	12,2	9,0
30...40	2,6	7,7	9,8	9,5	4,8	8,4	4,1	5,3	3,3
40...50	2,0	6,1	10,2	5,6	6,8	8,5	4,7	6,4	8,2
50...60	2,1	5,5	10,3	4,8	5,9	3,5	4,9	5,3	11,1
60...70	1,8	5,3	5,5	3,3	4,2	2,0	3,1	6,1	10,8
80...90	0,8	3,9	4,3	1,9	4,6	8,4	2,8	4,2	6,3
90...100	0,3	3,3	3,1	1,2	4,5	9,9	2,9	3,4	4,2
100...110	0,1	3,1	2,0	1,1	4,5	7,3	1,7	2,6	3,6
110...120	0,1	2,6	1,4	0,9	4,3	0,8	2,3	1,7	2,7
120...130	0,1	2,1	0,8	0,7	4,6	4,1	2,2	1,4	1,6
130...140	–	2,1	0,5	0,3	4,3	3,8	2,4	1,1	1,1
140...150	–	1,7	0,2	0,3	4,3	1,5	2,3	1,8	0,8
150...160	–	1,5	–	0,1	3,0	0,6	–	–	–
160...170	–	1,3	–	–	2,6	0,6	1,6	1,4	0,5
170...180	–	1,3	–	–	4,4	0,3	1,1	0,9	0,1
180...190	–	0,9	–	–	5,6	0,1	1,1	0,9	0,1
190...200	–	0,5	–	–	2,9	–	0,7	0,5	–
200...260	–	–	–	–	0,4	–	0,4	1,1	–
Итого	88,9	87,7	84,8	84,3	91,3	69,8	91,1	83,4	82,4

Примечание. Пробные площади 16, 48, 50, 78, 140, 20 расположены в ТУМ В<sub>2</sub>; пробные площади 81, 82, 39 – в ТУМ С<sub>2</sub>.

Обращает на себя внимание распределение массы физиологически активных корней сосны по глубине их распространения (табл. 3). Так, в суборевых условиях местопроизрастания основная масса корней сосредоточена в 120–160-сантиметровом слое за исключением 34-летних культур сосны, где глубина проникновения корней составила 190 ... 200 см, а в судубравах, где почвы богаче и режим питания для сосны лучше, корни распространены до 260 см.

Таким образом, в условиях Черкасского бора фитомасса корней имеет тенденцию к увеличению с возрастом как в суборях, так и особенно в судубравах. В целом 82,4 ... 91,3 % массы физиологически активных корней сосредоточено в слое почвы 260 см, притом в 20-летних культурах в 30-сантиметровом слое почвы их доля достигает 79,0 %. С увеличением возраста культур львиная доля физиологически активных корней уходит в более глубокие горизонты, как правило, до 1 м.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баглай, А.Н. Каким способом лучше восстанавливать сосну [Текст] / А.Н. Баглай // Лесн. хоз-во. – 1966. – № 5. – С. 35–36.

2. *Баглай, А.Н.* Формирование корневых систем сосны в культурной части Усманского бора в зависимости от условий местопроизрастания [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.Н. Баглай. – К., 1962. – 21 с.
3. *Данилов, М.Д.* Распространение корней по горизонтам на лесосеках сосновых насаждений [Текст] / М.Д. Данилов // Почвоведение. – 1947. – № 2. – С. 32–36.
4. *Логгинов, Б.И.* Взаимодействие корневых систем сосны и дуба в насаждениях свежих суборей [Текст] / Б.И. Логгинов, М.И. Гордиенко, Т.В. Дубинин // Лесоводство и агролесомелиорация: сб. науч. тр. – К.: УСХА, 1965. – С. 61–67.
5. *Молчанов, А.А.* Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах [Текст] / А.А. Молчанов. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 448 с.
6. *Орлов, А.Я.* Почвенная экология сосны [Текст] / А.Я. Орлов, С.Г. Кошелков. – М.: Наука, 1971. – 323 с.
7. *Редько, Г.И.* Черкасский бор: история, лесонасаждения, использование [Текст] / Г.И. Редько, В.П. Шлапак. – К.: Лыбидь, 1991. – 104 с.
8. *Торопогрицкий, Д.П.* Влияние глубокой подготовки почвы на рост культур сосны на песках [Текст] / Д.П. Торопогрицкий // Лесн. хоз-во. – 1968. – № 1. – С. 48–50.
9. *Чмыр, А.Ф.* Лесные культуры [Текст]: метод. указания по обследованию и исследованию корневых систем древесных пород для студентов-дипломников по спец. 1512 / А.Ф. Чмыр. – Л.: ЛТА, 1984. – 37 с.
10. *Чмыр, А.Ф.* Лесные культуры [Текст]: метод. указания по обследованию и исследованию лесных культур и способы обработки полевых материалов / А.Ф. Чмыр. – Л.: ЛТА, 1984. – 37 с.
11. *Шинкаренко, И.В.* Динамика роста и развития горизонтальных корней сосны обыкновенной [Текст] / И.В. Шинкаренко // Зап. Харьк. с.-х. ин-та им. Докучаева. – Харьков: Изд-во: Харьк. ун-та, 1955. – Т. 10. – С. 126–134.
12. *Шлапак, В.П.* Лесоводственная оценка агротехнических приемов создания и выращивания культур сосны в Черкасском бору [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.П. Шлапак. – Л., 1990. – 19 с.
13. *Головащенко, В.П.* Ріст соснових культур при різній глибині оранки ґрунту в лісових умовах [Text] / В.П. Головащенко, М.В. Юр // Вирощування і таксація лісових насаджень. – Київ: УСГА, 1967. – Вип. 2. – С. 70–85.

Национальный дендрологический парк  
«Софиевка» НАН Украины

Поступила 10.11.04

*V.P. Shlapak*

### **Roots Phytomass in Pine Cultures in New Subors and Sudubravas**

In conditions of Cherkassy Pinery the regularities of pine root mass formation are set depending on the depth of their propagation, age of cultures and conditions of growth area.

УДК 630\*232.32

***Н.П. Братилова***

Братилова Наталья Петровна родилась в 1969 г., окончила в 1991 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры селекции, лесных культур и озеленения Сибирского государственного технологического университета. Имеет 104 печатные работы по лесной селекции, экологии, лесовыращиванию.



### **ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА СЕМЯДОЛЕЙ НА РОСТ 25-ЛЕТНЕГО КЕДРА СИБИРСКОГО В ПЛАНТАЦИОННЫХ КУЛЬТУРАХ**

Предложено в качестве диагностического признака роста и формирования фитомассы кедр сибирского I класса возраста использовать показатель числа семядолей всходов.

*Ключевые слова:* кедр сибирский, число семядолей, плантационные культуры, фитомасса, ранняя диагностика.

Зависимость между показателями роста растений в лесных культурах на начальных этапах онтогенеза и в дальнейшем отмечали многие авторы [2–5 и др.]. Так, В.Я. Попов и В.М. Жариков [3] выявили превосходство 6-7-семядольных особей сосны обыкновенной над 4-5-семядольными по развитию ассимиляционного аппарата, корней и смолоносной системы хвои и луба. Они установили, что фитомасса трехлетних сеянцев ели с числом семядолей от 8 до 10 шт. была в 1,5–2,0 раза больше, чем у сеянцев с 5–7 семядолями. По данным Р.Н. Матвеевой и О.Ф. Буторовой [2], кедр сибирский с 9 и более семядолями серповидной формы отличается большими размерами в 2-3-летнем возрасте. Отмечено также [5], что 14-семядольная форма кедр сибирского в 20-летнем биологическом возрасте превышает 10-13-семядольные по диаметру ствола, кроны, числу боковых побегов, формированию фитомассы кроны.

Наши исследования проведены в плантационных культурах кедр сибирского, расположенных в пригородной зоне Красноярска на территории учебно-опытного лесхоза СибГТУ. Изучено влияние числа семядолей на рост кедр сибирского 25-летнего биологического возраста.

В 1980 г. однолетние сеянцы сортировали по числу семядолей. У большинства растений их было от 9 до 12, у единичных особей – 7 и 15–16 [1]. В последующем экземпляры с 7 и 16 семядолями не сохранились, с 15 – получили механические повреждения (обломаны), поэтому данные приведены для групп растений с 8 ... 14 семядолями.

Исследования показали, что в 25-летнем биологическом возрасте кедр сибирский данных форм имеет высоту от  $4,40 \pm 0,26$  до  $5,00 \pm 0,19$  м,

диаметр ствола на высоте 1,3 м – от  $7,20 \pm 0,25$  до  $8,70 \pm 0,44$  см. Наибольшие размеры отмечены у многосеядольной формы (см. таблицу).

Крона 25-летнего кедра сибирского сравниваемых вариантов низкоопущенная, ее протяженность 95,8 ... 98,0 % высоты дерева. Многосеядольные особи формируют крону большей протяженности и диаметра (см. таблицу).

#### Показатели кедров сибирского 25-летнего возраста

Число семядолей, шт.	$\bar{x}$	$\pm m$	$\pm \sigma$	V, %	P, %	$t_{\phi}$ (при $t_{01} = 1,64$ ; $t_{05} = 2,04$ )
Биометрические показатели						
Высота, м						
8-9	4,4	0,26	0,87	19,9	6,0	1,86
10-11	4,5	0,11	0,60	13,7	2,4	2,28
12-13	4,8	0,13	0,69	14,4	2,7	0,87
14	5,0	0,19	0,48	9,6	3,9	-
Текущий прирост в высоту, см						
8-9	39,6	1,79	5,95	15,1	4,5	0,40
10-11	43,7	0,66	3,77	8,6	1,5	1,17
12-13	43,3	0,86	4,57	10,5	2,0	0,99
14	40,8	2,38	5,83	14,3	5,8	-
Диаметр ствола на высоте 0,1 м, см						
8-9	10,4	0,51	1,70	16,3	4,9	1,94
10-11	10,3	0,22	1,25	12,2	2,1	3,14
12-13	10,7	0,26	1,40	13,2	2,4	2,06
14	11,6	0,35	0,87	7,5	3,0	-
Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см						
8-9	7,4	0,58	1,91	26,0	7,8	1,79
10-11	7,2	0,25	1,46	20,7	3,5	2,96
12-13	7,5	0,27	1,41	18,9	3,6	2,32
14	8,7	0,44	1,08	12,4	5,1	-
Размеры кроны, м						
Протяженность						
8-9	4,2	0,26	0,85	20,2	6,1	2,13
10-11	4,4	0,14	0,80	18,2	3,2	2,68
12-13	4,6	0,13	0,68	14,8	2,8	1,79
14	4,9	0,20	0,48	9,9	4,1	-
Диаметр						
8-9	2,1	0,11	0,35	16,4	5,2	2,02
10-11	2,1	0,05	0,31	14,6	2,4	2,68
12-13	2,2	0,05	0,29	13,4	2,3	1,79
14	2,4	0,10	0,24	10,1	4,1	-
Длина хвои, см						
8-9	10,0	0,33	1,09	10,9	3,3	2,31
10-11	10,1	0,21	1,21	12,0	2,1	2,62

Окончание таблицы

Число семядолей, шт.	$\bar{x}$	$\pm m$	$\pm \sigma$	V, %	P, %	$t_{\Phi}$ (при $t_{01} = 1,64$ ; $t_{05} = 2,04$ )
12-13	10,5	0,22	1,14	10,9	2,1	1,48
14	11,0	0,28	0,69	6,2	2,5	-
Надземная фитомасса, кг						
Хвоя						
8-9	2,67	0,240	0,795	29,8	9,0	1,83
10-11	2,65	0,105	0,602	22,7	4,0	2,67
12-13	2,84	0,122	0,643	22,7	4,3	1,73
14	3,23	0,190	0,465	14,4	5,9	-
Ветви						
8-9	2,43	0,243	0,806	33,1	10,0	1,79
10-11	2,31	0,104	0,598	25,9	4,5	2,73
12-13	2,64	0,149	0,787	29,8	5,6	1,43
14	3,06	0,254	0,623	20,4	8,3	-
Ствол						
8-9	3,33	0,332	1,102	33,0	10,0	1,70
10-11	3,21	0,121	0,695	21,7	3,8	2,85
12-13	3,58	0,167	0,883	24,7	4,7	1,50
14	4,06	0,273	0,669	16,5	6,7	-

Продолжительность жизни хвои кедр сибирского в плантационных культурах составляет в среднем 4 года, у отдельных экземпляров варьирует от 3 до 7 лет. Длина хвои наибольшая в варианте с 14 семядолями (см. таблицу).

Разные формы кедр сибирского отличаются и по числу боковых побегов: от 94 шт. у растений с 8-11 семядолями до 110 шт. у многосемядольных.

Надземная фитомасса в абс. сухом состоянии сильно варьирует как внутри селективируемых групп, так и между ними (см. таблицу). Максимальное ее накопление также отмечено у экземпляров с наибольшим числом семядолей.

Таким образом, число семядолей всходов кедр сибирского является одним из диагностических показателей лучшего роста и наибольшего формирования фитомассы в течение 25 лет. Данный признак целесообразно использовать при отборе посадочного материала для создания целевых культур, отличающихся повышенной экологической эффективностью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеева, Р.Н. Особенности хранения семян, выращивания посадочного материала и создания культур целевого назначения сосны сибирской [Текст]: дис... д-ра с.-х. наук / Р.Н. Матвеева. – Красноярск, 1994. – 368 с.

2. *Матвеева, Р.Н.* Генетика, селекция, семеноводство кедра сибирского [Текст]/ Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова. – Красноярск: СибГТУ, 2000. – 243 с.

3. *Попов, В.Я.* Селекционные основы семеноводства сосны и ели на Европейском Севере [Текст]/ В.Я. Попов, В.М. Жариков // Селекция и семеноводство хвойных пород на Европейском Севере. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1990. – С. 3–17.

4. *Усольцев, В.А.* Структура фитомассы кедровых сосен в плантационных культурах [Текст] / В.А. Усольцев, Н.П. Щерба (Братилова). – Красноярск: СибГТУ, 1998. – 134 с.

5. *Щерба (Братилова), Н.П.* Влияние числа семядолей на рост 20-летних саженцев кедра сибирского в плантационных культурах [Текст] / Н.П. Щерба (Братилова) // Лесной комплекс: проблемы и решения: сб. докл. Всерос. конф. – Красноярск: СибГТУ, 1999. – С. 39–40.

Сибирский государственный  
технологический университет

Поступила 27.04.05

*N.P. Bratilova*

### **Influence of Cotyledon Number on Growth of 25-year Siberian Cedar in Plantation Cultures**

It is suggested to use the index of sprout cotyledon number as diagnostic characteristic of growth and phytomass formation for Siberian cedar of the first age class.







УДК 630\*32

**Н.С. Иванова, П.М. Мазуркин**

Мазуркин Петр Матвеевич родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой природообустройства Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки и техники Республики Марий Эл, академик РАЕН. Имеет 820 печатных работ в области экологической оценки территорий свойствами деревьев и их популяций, а также долговременными результатами лесозаготовок.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕРЕВЬЕВ БЕРЕЗЫ НА ЛЕСОСЕКЕ ПО СТУПЕНЯМ ТОЛЩИНЫ И ТОВАРНОСТИ**

На основе результатов ленточного перечета деревьев на таксационном выделе и будущих лесосеках березняка выявлены статистические закономерности распределения деревьев березы по ступеням толщины и группам товарности деловых и дровяных деревьев.

*Ключевые слова:* березняк, лесосека, ленточный перечет, закономерности распределения.

В статистической теории лесозаготовок, которая создается на основе моделирования процессов обработки деревьев и сортиментов биотехническим законом [1–4], основным условием является учет закономерностей распределения деревьев на конкретной лесосеке и (или) таксационном выделе. Это позволяет совершенствовать существующие методики расчета показателей лесозаготовительных работ по объемам заготавливаемой древесины, группам качества и видам сортиментов, производительности работы лесозаготовительных машин, комплексной выработке лесосечной бригады и др., а также оценить экологическое состояние и режимы природопользования на участке леса [5, 6]. По результатам исследований в этих направлениях в МарГТУ получены патенты на изобретения [7–10].

Летом 2005 г. в Суслонгерском лесхозе Республики Марий Эл проведен визуальный осмотр лесосеки, отведенной на таксационном выделе березняка, а затем выполнен ленточный перечет деревьев в квартале № 44, на делянке № 1 площадью 12,6 га. Таксационная характеристика древостоя: возраст 75 лет, состав 8Б1Ос1Лп +Е+С, разряд высот по березе – I, осине – II, липе и ели – III, класс бонитета I, полнота 0,8. Результаты перечета березовых деревьев приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Результаты ленточного пересчета деревьев березы на лесосеке, шт.

Ступень толщины $d$ , см	Число деревьев березы		
	деловых	дровяных	Всего
12	-	5	5
16	30	44	74
20	62	9	71
24	121	22	143
28	119	19	138
32	78	4	82
36	57	4	61
40	14	3	17
44	8	2	10
48	2	-	2
Итого	491	112	603

Таблица 2

## Распределение группы деловых деревьев березы на лесосеке, шт.

Ступень толщины $d$ , см	Число деревьев $\hat{N}$ , шт.	Расчетные значения (1)			Составляющие (1)		
		$N$	$\varepsilon$	$\Delta$ , %	$N_1$	$N_2$	$N_3$
16	30	29,81	0,19	0,63	25,37	4,13	-0,31
20	62	62,79	-0,79	-1,27	60,73	9,01	6,95
24	121	120,21	0,79	0,65	97,43	13,12	-9,66
28	119	119,17	-0,17	-0,14	<b>104,74</b>	<b>14,46</b>	0,03
32	78	78,46	-0,46	-0,59	75,45	12,99	9,98
36	57	56,87	0,13	0,23	36,42	9,99	<b>-10,46</b>
40	14	13,12	0,88	6,29	11,78	6,79	5,45
44	8	8,02	-0,02	-0,25	2,55	4,18	-1,29
48	2	3,15	-1,15	<u>-57,5</u>	0,37	2,37	-0,41

Примечание. Условные обозначения:  $\hat{N}$  – фактическое число деревьев, шт.;  $N$  – расчетное число деревьев, шт.;  $\varepsilon$  – остаток, т. е. абсолютная погрешность,  $\varepsilon = \hat{N} - N$ ;  $\Delta$  – относительная погрешность,  $\Delta = 100\varepsilon/\hat{N}$ . Максимальное значение относительной погрешности  $\Delta_{\max}$  подчеркнуто. Доверие к уравнениям оценивается разницей  $D = 100 - |\Delta_{\max}|$ .

Статистические данные ленточного пересчета обработаны с помощью ПЭВМ. Для статистического моделирования использовали математическую среду EUREKA (Eureka Solver), так как по табл. 1 число ступеней толщины не превышает 24.

Деловые деревья березы распределяются по ступеням толщины согласно статистической закономерности (табл. 2)

$$N = 106,898 \exp[-0,0125(d - 26,7230)^2] + 1,5045 \cdot 10^{-9} d^{9,8997} \exp(-0,3572d) - 9,9341 \cdot 10^{-10} d^{9,8899} \exp(-0,3433d) \times \cos\{\pi d / [2,1535 + 0,4718d^{0,7250} \exp(-0,02022d)] + 0,2109\}. \quad (1)$$

Первая составляющая ( $N_1$ ) уравнения (1) выражает закон нормального распределения. *Идеальный древостой* соответствует этой устойчивой закономерности, которая в составных статистических моделях является естественной. Деревья образуют биологическую популяцию, поэтому параметры их распределения отклоняются от нормального закона, а вторая составляющая ( $N_2$ ) изменяется по биотехническому закону [1–6].

Вместе первая и вторая составляющие характеризуют *нормальный древостой*, который соответствует данным условиям произрастания.

Третья составляющая ( $N_3$ ) показывает колебательное возмущение древостоя как биологической популяции на антропогенное воздействие (на проведенные рубки, загрязнение, пожары и другие катастрофы). Отрицательный знак соответствует кризисному (негативному) волновому возмущению. Перед функцией косинуса представлено выражение амплитуды колебания, изменяющейся по биотехническому закону. Внутри косинуса в знаменателе биотехнический закон показывает изменение половины периода колебательного возмущения, что характеризует частоту колебания структуры древостоя.

В итоге третья составляющая показывает всю амплитудно-частотную характеристику структурного изменения березняка (рис. 1).

Для характеристики точности модели исключаем последнюю ступень толщины, поскольку она не типична для всей популяции деревьев. При этом расчетное число деревьев больше фактического ( $3,15 > 2$ ). Это означает, что рубками была изъята часть самых крупных берез. Без ступени 48 см максимальная относительная погрешность равна 6,29 %, поэтому доверие к формуле (1) будет не ниже  $100 - 6,29 = 93,71$  %.

Число дровяных деревьев березы на лесосеке изменяется по формуле (табл. 3)

$$N = 24,158 \exp[-0,00374(d - 15,7383)^2] + 0,0426d^{3,8494} \exp(-0,2667d) \times \cos\{\pi d / [3,4310 + 0,006369d^{1,0598} \exp(0,03752d)] - 1,8960\}. \quad (2)$$

Эту формулу можно считать математической моделью, если учесть ограничения изменения влияющей переменной от 12 до 44 см. Она имеет

Рис. 1. Графики распределения деловых деревьев березы: 1 –  $N$  (точками показаны фактические значения); 2 –  $N_1$ ; 3 –  $N_2$ ; 4 –  $N_3$

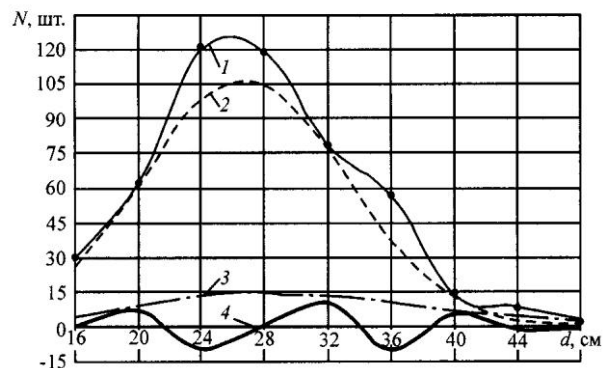


Таблица 3

## Распределение группы дровяных деревьев березы на лесосеке, шт.

Ступень толщины $d$ , см	Число деревьев $\hat{N}$ , шт.	Расчетные значения (2)			Составляющие (2)	
		$N$	$\varepsilon$	$\Delta$ , %	$N_1$	$N_2$
12	5	5,00	0,00	0,00	22,93	-17,93
16	44	44,00	0,00	0,00	<b>24,15</b>	<b>19,85</b>
20	9	9,00	0,00	0,00	22,57	-13,57
24	22	22,00	0,00	0,00	18,72	3,28
28	19	18,99	0,01	0,05	13,77	5,22
32	4	4,03	-0,03	-0,75	8,98	-4,95
36	4	3,90	0,10	2,50	5,20	-1,30
40	3	3,27	-0,27	-9,00	2,67	0,60
44	2	1,74	0,26	<u>13,00</u>	1,22	0,52

достаточно высокую точность. Наибольшее отклонение расчетного значения числа деревьев приходится также на последнюю ступень толщины. При этом расчетное значение меньше фактического ( $1,74 < 2$ ). Таким образом, доверие к статистической модели (2) равно не менее 87 %. Можно сказать, что при дальнейшем росте всего березняка число дровяных деревьев будет увеличиваться, а деловых – уменьшаться.

Формула или модель (2) содержит две составляющие.

Первая естественная составляющая ( $N_1$ ) также изменяется по закону нормального распределения Гаусса – Лапласа. Из данных табл. 3 и графиков на рис. 2 видно, что она сначала возрастает и достигает максимума при ступени толщины около 16 см, после чего постепенно убывает. Здесь отсутствует вторая составляющая из формулы (1), поэтому можно считать, что дровяные деревья больше относятся к косному веществу (по В.И. Вернадскому), чем к живому.

Вторая составляющая ( $N_2$ ) формулы (2), показывающая влияние внешних воздействий (как природных так и антропогенных,) на биологический объект, изменяется по закону волнового возмущения с амплитудой по биотехническому закону. Частота волнового возмущения увеличивается с возрастом деревьев (ступень толщины косвенно характеризует возраст деревьев). В итоге в самых худших условиях произрастания оказались

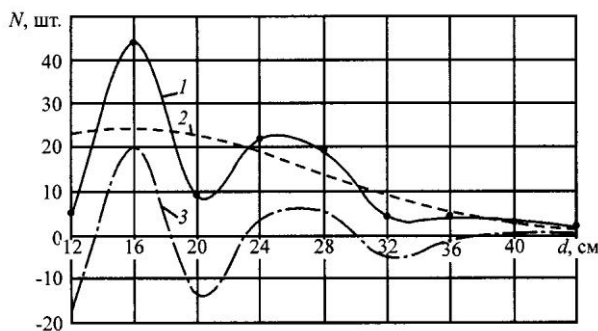


Рис. 2. Графики распределения дровяных деревьев березы. Обозначения см. на рис. 1

Таблица 4

## Распределение всех деревьев березы на лесосеке, шт.

Ступень толщины $d$ , см	Число де- ревьев $\hat{N}$ , шт.	Расчетные значения (3)			Составляющие (3)		
		$N$	$\varepsilon$	$\Delta$ , %	$N_1$	$N_2$	$N_3$
12	5	5,30	-0,30	-6,00	8,31	8,81	-11,82
16	74	74,11	-0,11	-0,15	28,26	20,47	<b>25,38</b>
20	71	70,77	0,23	0,32	64,55	30,35	-24,13
24	143	142,60	0,40	0,29	98,97	<b>33,85</b>	9,78
28	138	138,34	-0,34	-0,25	<b>101,87</b>	31,01	5,46
32	82	82,49	-0,49	-0,60	70,39	24,61	-12,51
36	61	60,97	0,03	0,05	32,65	17,50	10,82
40	17	16,35	0,65	3,82	10,17	11,41	-5,23
44	10	10,05	-0,05	-0,50	2,13	6,93	0,99
48	2	2,03	-0,03	-1,50	0,29	3,98	-2,24

44 березы ступени 16 см. Этот факт показывает, что данный древостой не имеет перспективы роста и развития.

Распределение всех деревьев березы на лесосеке характеризуется статистической моделью (табл. 4)

$$N = 105,648 \exp[-0,01245(d - 26,2898)^2] + 8,5810 \cdot 10^{-6} d^{6,9738} \exp(-0,2906d) + 0,09075d^{3,0037} \exp(-0,1659d) \times \cos\{\pi d / [1,4423 - 2,1110 \cdot 10^{-6} d^{-5,0054} \exp(0,5935d)] + 3,1288\}. \quad (3)$$

Из данных таблицы видно, что формула (3) с высокой точностью описывает численность всех деревьев березы по ступеням толщины, доверие к статистической модели (3) не менее 94 %.

Отличие структуры статистической модели заключается в третьей составляющей. Она имеет положительное возмущение с убывающей частотой колебания численности по ступеням толщины (рис. 3). Но это убывание происходит по аномальному биотехническому закону (из-за смены знаков при параметрах модели в знаменателе под функцией косинуса).

Максимумы составляющих (в табл. 4 выделены жирным шрифтом) смещаются к деревьям меньших ступеней толщины.

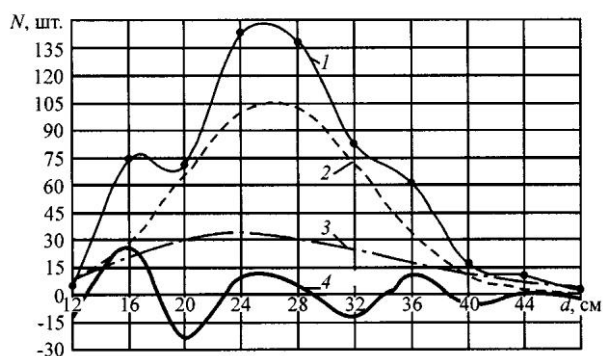


Рис. 3. Графики распределения всех деревьев березы.

Обозначения те же

Более подробный анализ волновых составляющих приведенных статистических моделей позволяет дать количественную оценку места произрастания березняка. Модель (1) может быть применена для оценки объемного выхода сортиментов, в том числе фанерного кряжа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазуркин, П.М. Динамика рубок леса [Текст]: науч. изд. / П.М. Мазуркин, Э.Н. Бедертдинов, А.Н. Фадеев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 218с.
2. Мазуркин, П.М. Закономерности распределения деревьев и измерение влияния рубок ухода за лесом [Текст] / П.М. Мазуркин, С.Е. Анисимов // Лесн. вестн. МГУЛ. – 2003. – Вып. 3. – С. 101–108.
3. Мазуркин, П.М. О статистической теории лесозаготовки [Текст] / П.М. Мазуркин, А.Н. Фадеев // Лесн. журн. – 1999. – № 5. – С. 41–46. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Мазуркин, П.М. Оценка и прогноз качества лесной территории [Текст] / П.М. Мазуркин, Э.Н. Бедертдинов, П.А. Перов // Там же. – 2003. – № 4. – С. 33–41.
5. Мазуркин, П.М. Экологическая оценка территории по ведомости перечета деревьев на лесосеке [Текст] / П.М. Мазуркин, Е.В. Светлакова // Лесозаготовка: межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск: СибГТУ, 2004. – Вып. 5. – С. 77–82.
6. Мазуркин, П.М. Экологический мониторинг (способы испытания деревьев) [Текст]: учеб. пособие / П.М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – 224 с.
7. Пат. 2224418 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 01 G 23/02. Способ измерения учетного дерева [Текст] / Мазуркин П.М., Кошкина Т.А. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. техн. ун-т. – № 2002116082/12; заявл. 18.06.02; опубл. 27.02.04, Бюл. № 6.
8. Пат. 2229127 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 N 33/46, А 01 G 23/00. Способ испытания растущих деревьев после рубок прореживания и проходных [Текст] / Мазуркин П.М., Колесникова А.А., Бедертдинов А.Н., Русинова Н.В. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. техн. ун-т. – № 2001115403/12; заявл. 04.06.01; опубл. 20.05.04, Бюл. № 14.
9. Пат. 2254704 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 01 G 23/00, 23/02, G 01 N/46. Способ анализа комлевой части растущего дерева [Текст] / Мазуркин П.М., Михайлова Т.Ф. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. техн. ун-т. – № 2004105917/12; заявл. 27.02.04; опубл. 27.06.05, Бюл. № 18.
10. Пат. 2250599 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 01 G 23/02, 23/08, 213/081, 23/083. Способ обработки деревьев и заготовки сортиментов валочно-пакетирующей машиной [Текст] / Мазуркин П.М., Анисимов С.Е., Голомидова И.А., Владимиров А.А., Иванова Н.С. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. техн. ун-т. – «№ 2004102547/12; заявл. 28.01.04; опубл. 27.04.05, Бюл. № 12.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 21.08.06

*N.S. Ivanova, P.M. Mazurkin*

#### **Distribution of Birch Trees on Cutting Area according to Thickness Steps and Merchantability**

The statistic regularities of birch trees distribution according to thickness steps and merchantability classes of timber and firewood are revealed based on tape tally of trees in the allotment and future cutting areas of birch forests.

УДК 624.21:691.116

### **В.П. Стуков**

Стуков Валерий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства верфи филиала «Севмашвуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный дорожник РФ. Имеет более 80 печатных работ в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.



## **ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ**

Показано, что в целях удешевления строительства мостов в северном регионе, наряду с железобетонными и металлическими, следует строить современные деревянные мосты из клееной древесины, в том числе с железобетонной плитой.

*Ключевые слова:* транспортная сеть, мосты, клееная древесина, железобетон.

В мировой практике деревянное мостостроение занимает важное место. Если плотность дорог и количество мостов достаточны для удовлетворения текущих транспортных потребностей и перспективы, то необходимость строительства новых мостов не столь остра и этот вопрос можно рассматривать в чисто теоретическом плане. Однако если более 50 % мостов требуют реконструкции по причине недостаточной грузоподъемности или габарита проезжей части, то однозначно следует строить автодорожные мосты, тем более, что в России их плотность на 100 км<sup>2</sup> в 25 раз меньше, чем в США [6, 10].

За период с 1974 г. по 1998 г. (как и в настоящее время) парк мостов России претерпел значительные качественные и количественные изменения. Если в 1974 г. капитальные мосты составляли 13,2 %, остальные – деревянные, то в 1998 г. этот показатель достиг 77,7 % [1]. Новые мосты строили только капитальными, а реконструируемые деревянные заменяли капитальными или трубами.

В Архангельской области при росте протяженности дорог общего пользования соотношение мостов иное, чем в среднем по России. В 1974 г. капитальные мосты составляли 0,67 %, в 1998 г. – 13,12 %. В богатом лесом регионе мосты в подавляющем большинстве по-прежнему остаются деревянными, что связано с объемами финансирования, производственными мощностями, сложными климатическими условиями и т. д. Плотность областной сети автомобильных дорог с твердым покрытием на 1000 км<sup>2</sup> составляет 12,7 км [5, 8]. По расчетам института Гипродорнии, чтобы обеспечить устойчивую автотранспортную связь райцентров с областными, сельскими центрами и прочими населенными пунктами, этот показатель необходимо довести в среднем по области до 26,1 км на 1000 км<sup>2</sup> территории [2]. В настоящее время практически все деревянные мосты требуют замены, около

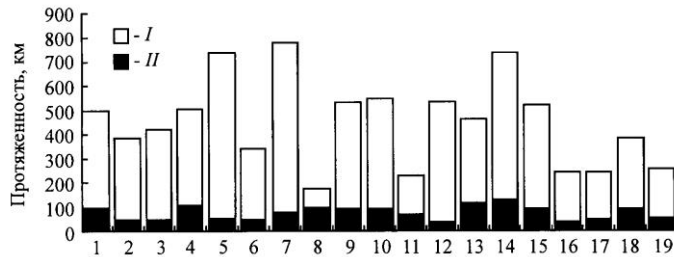


Рис. 1. Гистограмма протяженности автодорог по районам Архангельской области, которые необходимо построить в ближайший период и до уровня ликвидации бездорожья: *I* – потребность в автодорогах до уровня ликвидации бездорожья; *II* – предполагаемое строительство; *I* – Приморский; 2 – Мезенский; 3 – Онежский; 4 – Холмогорский; 5 – Пинежский; 6 – Лешуконский; 7 – Плесецкий; 8 – Виноградовский; 9 – Верхнетоемский; 10 – Каргопольский; 11 – Няндомский; 12 – Шенкурский; 13 – Коношский; 14 – Вельский; 15 – Устьянский; 16 – Красноборский; 17 – Ленский; 18 – Котласский; 19 – Вилегодский районы

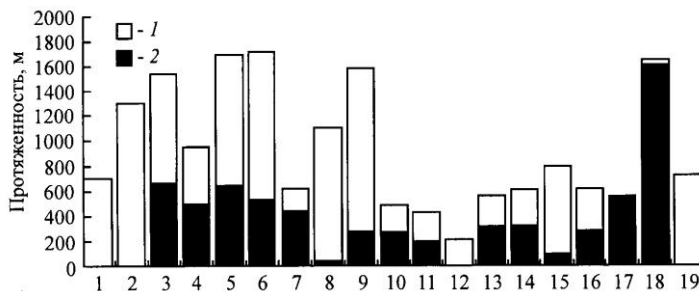


Рис. 2. Гистограмма протяженности мостов на автодорогах по районам Архангельской области, которые необходимо построить в ближайший период и до уровня ликвидации бездорожья: *1* – мосты на местных дорогах общего пользования; *2* – мосты на важнейших дорогах общего пользования; обозначения *1* – *19* см. на рис. 1

24 % из них находятся в аварийном состоянии; часть капитальных мостов нуждается в реконструкции.

Обработка материалов, представленных в Программе развития дорожного хозяйства Архангельской области до 2000 года [5], позволила построить гистограммы протяженности автодорог и мостов по районам области (рис. 1, 2).

Европейский Север щедро одарен лесом и природными ископаемыми. Для доставки их потребителям нужны современные автомобильные дороги. Работы по освоению нефти в районе Мезенской впадины считают в Правительстве России приоритетными, поэтому запланировано строитель-



ство 260 км дорог [2]. Для этой цели предполагается использовать трассу Лешуконское – Мезень. Особое место занимает промышленное освоение алмазов. В Приморском районе необходимо построить автодорогу Архангельск – Поморье протяженностью 96 км. В интересах освоения природных ресурсов намечена реконструкция федеральной автомобильной дороги Москва – Архангельск.

Объем работ по созданию транспортной сети автодорог, а следовательно, и строительству мостов, может оказаться столь значительным, что с ним не справятся дорожно-мостовые организации области и возникнет необходимость в принятии решений на государственном уровне. Выполнение Программы [5] даст области только 18,3 % автодорог, необходимых для ликвидации бездорожья. Объемы работ по строительству мостов на ближайший период в наиболее «бездорожных» районах области (рис. 2) соизмеримы с объемом работ, выполненных Управлением автомобильными дорогами Архангельской области «Архангельскавтодор» в 1994 г., когда были достигнуты наивысшие производственные показатели.

Если строить капитальные мосты из железобетона, то при поставках материалов из центральных районов России и производственных возможностях объем работ по Программе [5] может быть выполнен лишь за 11 лет. Вполне очевидно, что в мостостроение региона следует привлекать другие материалы, в том числе древесину. В практике зарубежного мостостроения широкое распространение получили разрезные балочные мосты с пролетными строениями, в которых ребра из клееной древесины объединены с железобетонной плитой. В США и Канаде построены и успешно эксплуатируются десятки тысяч подобных мостов. При использовании железобетонной плиты значительно улучшаются технико-экономические и эксплуатационные показатели мостового сооружения. В деревожелезобетонной балке железобетонная плита работает на сжатие, а ребро из клееной древесины на растяжение. В железобетонной плите существенно лучше, чем в деревянной распределяется временная нагрузка между балками пролетного строения, создается комфортный температурно-влажностный режим клееной древесины ребер, что позволяет ее экономить. Пролетное строение становится капитальным с едиными сроками эксплуатации конструктивных элементов. Надежное соединение ветвей балки надежно в работе, позволяет проектировать деревожелезобетонные балки разной составности [9]. На рис. 3 представлен расход древесины для случаев, когда нет связи между плитой и ребром (коэффици-

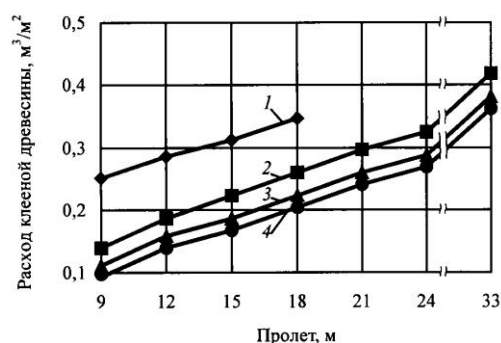


Рис. 3. Расход клееной древесины на балки деревожелезобетонного пролетного строения с габаритом проезжей части Г-8: 1 – типового проекта; 2 – 4 –  $\psi$  соответственно 0; 0,5 и 0,8

циент составности  $\psi = 0$ ) или используют их нагельное соединение, причем  $\psi = 0,5$  и  $\psi = 0,8$  – это нижняя и верхняя границы составности деревожелезобетонной балки, которую при проектировании следует задавать объединенной конструкции (толщина плиты 15 см, шаг балок 1,4 м, нагрузки А11 и НК-80). Здесь же приведен расход клееной древесины на балки согласно типовым проектам ТП (810-Р и 810-Т). Из рисунка видно, что экономия клееной древесины зависит от составности комбинированного сечения балки, при использовании деревожелезобетонных балок она весьма значительна, не менее 25 %.

Из условий рационального армирования и технологии производства толщина железобетонной плиты должна составлять от 15 до 20 см.

На рис. 4 приведены данные о расходе клееной древесины при изменении шага балок поперек моста от 1,4 до 2,6 м. Как видим, с увеличением шага балок экономия клееной древесины возрастает. При шаге 2,2 и 2,6 м эти показатели практически одинаковы, а увеличение его более 2,2 м нежелательно, поскольку усложняет армирование плиты.

Транспортная сеть автомобильных дорог региона должна соответствовать потребностям производства не только в настоящем, но и в будущем. В структуре экономики области более 1/3 занимает лесопромышленный комплекс [5]. Специфика современной заготовки древесины предполагает освоение новых лесных массивов. Для этого требуются новые автодороги всесезонного пользования [7] и большое количество мостов. Здесь, как отмечалось ранее, наряду с «традиционным» мостостроением следует смелее использовать древесину в современных мостовых конструкциях, что позволит наращивать объемы мостового строительства. Эта проблема вполне разрешима вместе с созданием новых специализированных мостостроительных организаций и налаживанием современного производства клееных конструкций.

Строительство новых автомобильных дорог требует весьма значительных финансовых вложений, особенно на заторфованных территориях, к которым в основном относятся районы добычи природных ископаемых. Одним из путей снижения стоимости дорожного строительства является использование существующих лесовозных дорог, утративших производственное значение вследствие вырубki леса, но проложенных по территории (или к ней) разработки природных ископаемых.

Вся материковая часть Архангельской области пронизана сетью лесовозных дорог различной плотности, куда входят лесовозные автомобильные дороги и железные дороги узкой колеи (УЖД). По данным работы [4], их протяженность составляет 19,3 тыс. км. Только 14,7 % автодорог протяженностью 2468 км, имеющих гравийное покрытие, можно условно отнести

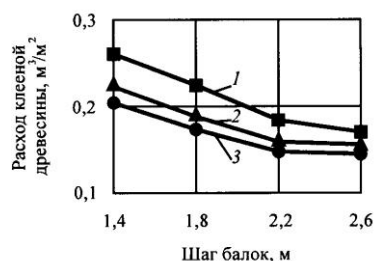


Рис. 4. Изменение расхода клееной древесины в зависимости от шага балок: 1 – 3 –  $\psi$  соответственно 0; 0,5; 0,8

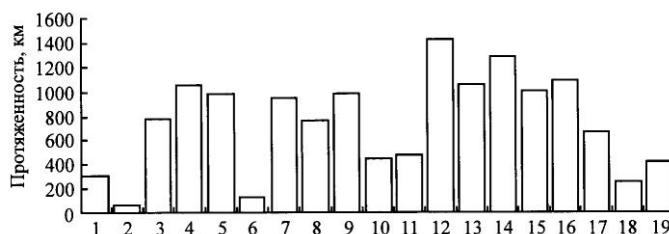


Рис. 5. Гистограмма протяженности лесовозных дорог и по районам Архангельской области

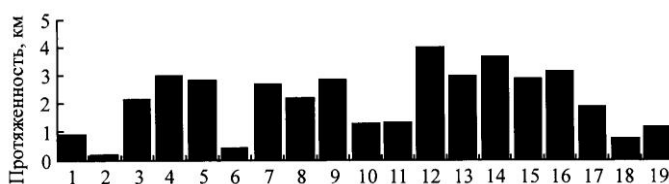


Рис. 6. Гистограмма протяженности мостов на лесовозных дорогах Архангельской области

к дорогам круглогодичного действия. Дороги с другим типом покрытия являются или частично круглогодичными, или сезонными. Лесовозные дороги, после реконструкции до уровня автомобильных с твердым покрытием, могут выполнять различные функции, в том числе транспортную связь населенных пунктов различной значимости как часть транспортной сети для освоения природных ресурсов и новых лесных массивов [3].

На рис. 5 приведена гистограмма протяженности лесовозных дорог по районам области; на рис. 6 – информация о протяженности мостов на этих дорогах при условии, что все они подлежат реконструкции до уровня автомобильных с твердым покрытием.

Существующие дороги не отвечают требованиям нормативных документов по положению в плане и профиле, разбивке горизонтальных и вертикальных кривых, конструкции основания и т. д., но мы имеем уменьшение объемов вырубki леса при прокладке просек и отчуждении земель под строительство, уменьшение объемов земляных работ, снижение влияния дорожно-строительной техники на окружающую среду и биогеоценоз и т. д. По данным [4], использование лесовозных дорог позволит не менее чем на одну треть уменьшить дорожные затраты за счет снижения капитальных вложений в строительство земляного полотна.

Разумеется, что существующие лесовозные дороги будут использоваться далеко не полностью и только для решения конкретных задач после реконструкции. Новые мосты необходимо строить капитальными, в ряде случаев под производственные нагрузки выше А11 и НК-80.

Если учесть объемы мостового строительства, которые следует выполнить для становления современной транспортной сети автодорог, и по-

пробовать реально увязать их со сложившимися поставками мостовых конструкций из железобетона и металла из центральных районов России, то само собой напрашивается необходимость применения в мостах на реконструируемых дорогах, как уже отмечалось ранее, клееной древесины, в том числе совместно с железобетоном.

По меркам огромной страны Европейский Север с колоссальными богатствами недр несоизмеримо ближе других регионов к промышленному центру, и развитие его послужит укреплению могущества государства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные дороги общего назначения [Текст]: справочник о наличии и протяженности по состоянию на 1 января 1998 года. – М.: Ротапринт ГП Информавтодор, 1998. – 54 с.
2. *Ефремов, А.А.* Дороги будут круто менять направление [Текст] / А.А. Ефремов // Автомобильные дороги. – 1997. – № 11. – С. 14–16.
3. *Морозов, С.И.* Развитие транспортной сети региона на базе лесовозных дорог [Текст] / С.И. Морозов, В.П. Стуков // Лесн. журн. – 1999. – № 2-3. – С. 90–93. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Морозов, С.И.* Транспортное освоение территории Архангельской области на базе лесовозных дорог [Текст] / С.И. Морозов, В.С. Морозов // Науч.-техн. политика и развитие новых отраслей экономики в Арханг. обл.: тез. докл. науч.-практ. конф. – Архангельск, 1998. – С. 14–16.
5. Программа развития дорожного хозяйства Архангельской области до 2000 года (без Ненецкого автономного округа) [Текст] // Ведомости Арханг. обл. Собрания депутатов. – Архангельск, 1995. – № 1. – 57 с.
6. Советский энциклопедический словарь [Текст]. – М., 1981. – 1600 с.
7. *Стуков, В.П.* Мосты с деревожелезобетонными пролетными строениями [Текст]: монография / В.П. Стуков; Арханг. гос. техн. ун-т; ф-л «Севмашвтуз» С.-Петербург. гос. морск. техн. ун-та в г. Северодвинске. – Архангельск, 2007. – 348 с.
8. *Стуков, В.П.* Состояние транспортной сети автомобильных дорог и мостов Архангельской области, их ближайшая перспектива в улучшении инфраструктуры региона [Текст] / В.П. Стуков // Лесн. журн. – 2000. – № 5-6. – С. 104–108. – (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Стуков, В.П.* Транспортные сети автомобильных дорог для освоения лесных массивов [Текст] / В.П. Стуков // Там же. – 1999. – С. 69 – 71.
10. The timber bridge touted in [Text] // Woodshop News. – 1989. – 3, N 10. – P. 132–133.

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

Поступила 26.10.04

*V.P. Stukov*

### **Peculiarities of Bridge Construction in the European North**

It is shown that to make bridge construction cheaper it is necessary to build modern wooden bridges made of laminated wood including the reinforced concrete flagstone along with reinforced-concrete and metal bridges.

---

УДК 630\*32

### ***К.П. Рукомойников***

Рукомойников Константин Павлович родился в 1977 г., окончил в 2000 г. Марийский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент МарГТУ. Имеет 35 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



### **СПОСОБ РАЗРАБОТКИ ЛЕСОСЕК\***

Разработаны технологические схемы движения форвардера при разработке пасеки, позволяющие увеличить ширину пасеки, уменьшить физические усилия при разработке лесосеки, снизить техногенное воздействие на лесную среду.

*Ключевые слова:* лесозаготовка, форвардер, лесосека, трелевка, пасека, сортимент.

В современных условиях функционирования лесопромышленных предприятий особую значимость приобретает сортиментная технология. Это связано с изменением экономической ситуации в отрасли, ухудшением сырьевых характеристик доступных для освоения насаждений, а также возросшими требованиями к сохранению окружающей лесной среды.

В настоящее время на большинстве лесозаготовительных предприятий РФ, вследствие незначительных объемов лесозаготовок, использование на лесосеке комплекта машин харвестер + форвардер экономически не оправдано. Поэтому наибольший интерес представляет механизированный способ валки, обрезки сучьев и раскряжевки лесоматериалов с последующей трелевкой сортиментов.

Существуют различные способы разработки лесосек с механизированной валкой леса бензопилами и трелевкой сортиментов форвардером. Основным условием при проведении несплошных рубок сортиментным методом является «организованное лесонасаждение» с обязательной разбивкой лесосек на пасеки и подготовкой технологических коридоров (волоков). При заготовке сортиментов непосредственно на лесосеке переносными цепными мотопилами необходимо, чтобы они были собраны в небольшие кучи и располагались на пасеке или волоке в зоне эффективного использования трелевочных средств [2, с. 303–307]. Однако при пакетировании сортиментов возникает необходимость их перемещения вручную либо с помощью аншпугов и металлических крюков в зону действия манипулятора форвардера.

---

\* 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.

Кроме того, при рубках главного пользования перемещение выпиленных крупных сортиментов вручную требует значительных физических усилий.

В целях увеличения ширины обрабатываемой форвардером пасеки и облегчения физических усилий при пакетировании сортиментов используют метод подтаскивания манипулятором не полностью раскряжеванного хлыста. Манипулятор захватывает ближайший конец хлыста, расположенный в зоне досягаемости, и подтаскивает к технологическому коридору, где его раскряжевают на сортименты [1, с. 95–96].

Однако при таком решении возможны сколы и повреждения сортиментов, что приводит к снижению качества древесины. Кроме того, при недостаточной толщине оставленной перемычки, чрезмерном перегибе хлыста в горизонтальной или вертикальной плоскости, а также при упоре не полностью раскряжеванного хлыста в препятствия не исключен нежелательный случай, когда отломившийся сортимент находится вне зоны досягаемости манипулятора.

Для снижения физических усилий на сбор сортиментов в кучи при сохранении качества трелюемой древесины предложен способ разработки лесосек, представленный на рисунке [3].

Лесосеку разбивают на пасеки с границей 1. На первом этапе разработки каждую пасеку делят на пять полос: волок 2, две примыкающие к волоку ленты 3 и две удаленные от него 4. Разработку начинают с прокладки волока, на котором валят деревья, обрезают сучья и раскряжевают хлысты. Через 25 м осуществляют валку деревьев на полупасеках в направлении, обеспечивающем падение деревьев в просвет между оставляемыми. На примыкающих к волоку лентах деревья валят так, чтобы максимально приблизить сучья к волоку, на удаленных – вершинная часть оказалась в зоне действия манипулятора б.

При работе на примыкающих к волоку лентах первой пасеки производят валку деревьев, обрезку сучьев и раскряжевку хлыстов. Ширина лент должна обеспечивать возможность захвата манипулятором любого расположенного на ней сортимента. Общую ширину двух лент ( $\Delta_1$ ) рассчитывают по формуле

$$\Delta_1 = \sqrt{4R^2 - a^2} + 2(\ell_{\text{сop}} - j_3) \sin c,$$

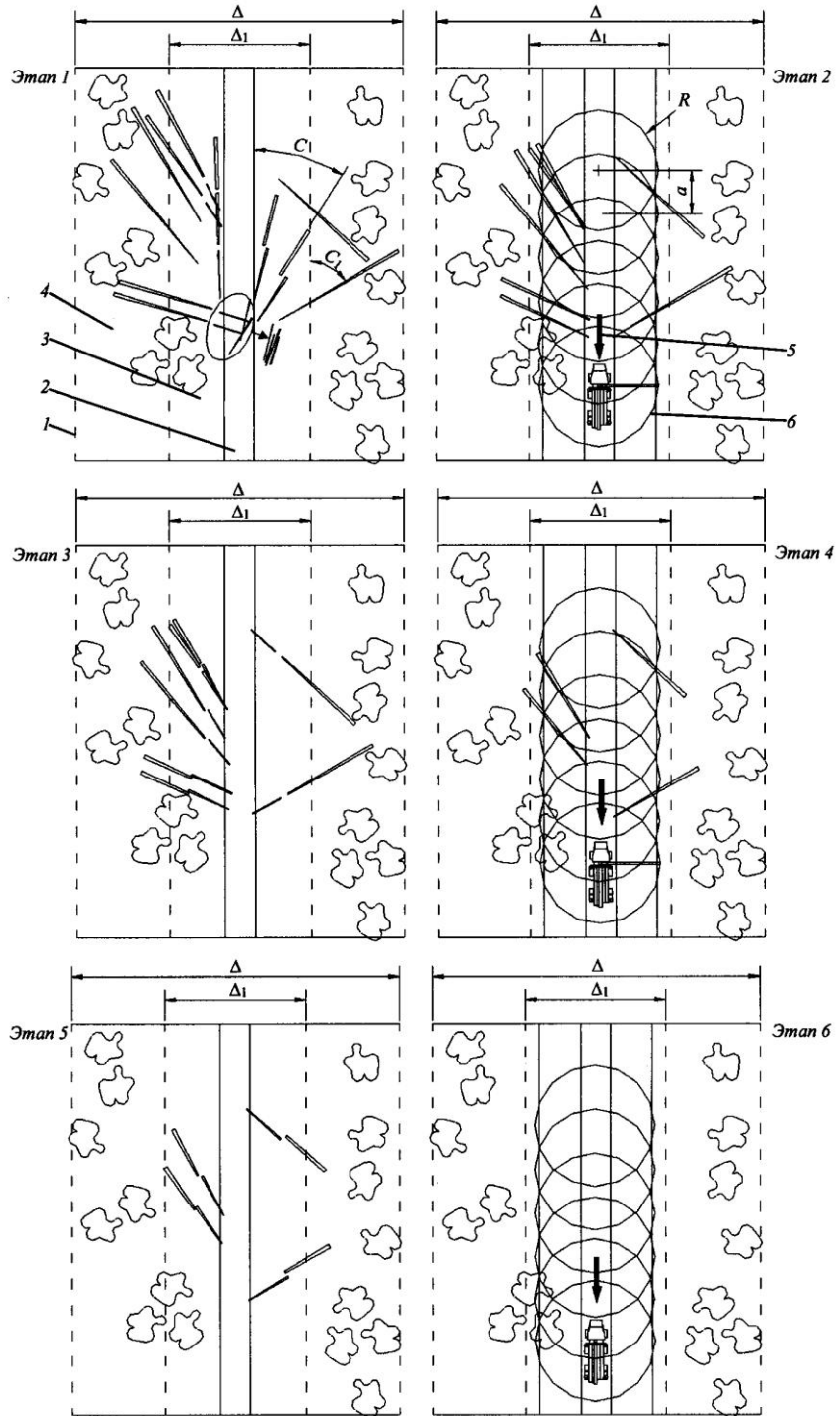
где  $R$  – максимальный вылет манипулятора, м;

$a$  – расстояние между рабочими позициями форвардера, м;

$\ell_{\text{сop}}$  – минимальная длина сортиментов, выпиленных из комлевой части дерева, м;

$j_3$  – длина части лесоматериала, которая должна находиться в зоне действия манипулятора для обеспечения надежного захвата,  $j_3 = 1-2$  м;

$c$  – минимальный угол валки деревьев, растущих на границе между примыкающими к волоку и удаленными лентами, град.



Технологическая схема разработки лесосеки

Сортименты, оказавшиеся после раскряжевки на волоке, смещают на примыкающие к нему ленты для обеспечения возможности проезда форвардера (показано стрелкой).

При работе на удаленных лентах первой пасеки выполняют валку деревьев, обрезку сучьев и разметку хлыстов на сортименты. Если вершинная часть хлыста находится на волоке или примыкает к нему, моторист бензопилы начинает раскряжевку хлыста с вершины, отделяя от него один сортимент с учетом разметки. Раскряжевку удаленных хлыстов производят после их подтаскивания к волоку манипулятором на следующих этапах разработки пасеки.

Ширину пасеки ( $\Delta$ ) рассчитывают по формуле

$$\Delta = 2[R + \sin c_1(\ell_x - j_3)],$$

где  $c_1$  – минимальный угол валки деревьев, растущих на границе пасеки, град;

$\ell_x$  – длина хлыста, м.

При валке деревьев перпендикулярно волоку формула приобретает вид

$$\Delta = 2(R + \ell_x - j_3).$$

После выполнения описанных операций начинают второй этап разработки пасеки. Моторист бензопилы переходит на следующую пасеку, а на рассматриваемой форвардер трелюет сортименты. Он заезжает в глубь лесосеки (пасеки) и при движении к погрузочному пункту в направлении 5 собирает и укладывает на грузовую платформу сортименты, расположенные в зоне действия манипулятора. При этом возможна их сортировка. Нераскряжеванные части хлыстов, полученные при обработке деревьев, поваленных на удаленных лентах, форвардер подтаскивает таким образом, чтобы при отделении от хлыста следующего сортимента остающаяся нераскряжеванная часть находилась в зоне действия манипулятора на расстоянии, достаточном для ее надежного захвата.

На третьем этапе форвардер начинает работу на второй пасеке, а вальщик возвращается на первую и отделяет очередные сортименты от оставшихся нераскряжеванных частей хлыстов.

На четвертом этапе вальщик вновь переходит на вторую пасеку, а на первой происходит сбор сортиментов и подтаскивание оставшихся нераскряжеванных частей хлыстов. Операции технологического процесса на двух смежных пасеках (пятый, шестой этапы) повторяются до тех пор, пока не будут обработаны все расположенные на них хлысты и стрелованы на лесопогрузочный пункт все заготовленные сортименты.

Предложенный способ позволяет снизить физические усилия, затрачиваемые при пакетировании сортиментов на рубках главного и промежуточного пользования, и сохранить качество трелюемой древесины.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азаренок, В.А.* Сортиментная заготовка леса [Текст]: учеб. пособие / В.А. Азаренок, Э.Ф. Герц, А.В. Мехренцев. – Екатеринбург, 2000. – 134 с.
2. *Матвейко, А.П.* Технология и машины лесосечных работ [Текст]: учеб. для вузов / А.П. Матвейко, А.С. Федоренчик. – Мн.: Технопринт, 2002. – 480 с.
3. Пат. 2269251, Российская Федерация, МКИ А01 G 23/00, 23/02. Способ разработки лесосек [Текст] / Рукомойников К.П., Иванов Г.Н., Сушенцов К.П. – № 2004116606/12; приоритет 31.05.04; опубл. 10.02.06, Бюл № 4. – 5 с.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 06.04.06

*K.P. Rukomojnikov*  
**Way of Cutting Area Development**

The process flowchart of the forwarder motion in the cutting area development is elaborated. The flowcharts allow to increase width of cutting area, decrease physical efforts in the cutting area development and reduce technogeneus impact on the forest environment.

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 676.051/.054

*С.Б. Васильев, И.В. Симонова*

Васильев Сергей Борисович родился в 1957 г., окончил в 1989 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры технологий и оборудования лесного комплекса Петрозаводского государственного университета. Имеет более 80 печатных работ в области производства различных видов древесной щепы.



### **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВОЙ РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ НА КАЧЕСТВО ЩЕПЫ**

Установлено, что влияние формы рабочей поверхности диска и заточки ножей рубительной машины зависит от скорости резания.

*Ключевые слова:* щепя технологическая, дисковые рубительные машины, форма рабочей поверхности диска, форма заточки ножей.

Имеющиеся в литературе сведения о влиянии формы рабочей поверхности диска и заточки ножей базируются только на теоретических рассуждениях. Большинство авторов сходятся во мнении, что профилированная рабочая поверхность позволит улучшить качество щепы [1–4], однако есть и такие [5–7], кто считают, что влияние этого параметра крайне незначительно или вообще отсутствует. Для решения задач, связанных с конструированием и эксплуатацией рубительных машин, были проведены экспериментальные исследования с целью определить принципиальную эффективность геликоидальной формы рабочей поверхности диска и заточки ножей.

Экспериментальная установка разработана на базе дисковой рубительной машины МРНП-30. Ее оснащали двумя видами кожуха, что позволило исследовать как верхний способ выброса щепы (рис. 1, *а*), так и горизонтальный (рис. 1, *б*). Диск в зависимости от условий эксперимента имел комплект из 16 ножей и накладок с геликоидальной или плоской рабочей поверхностью. Привод ротора машины был выполнен регулируемым, что позволяло в широких пределах варьировать скорость резания.

В качестве критерия для определения влияния параметра принята доля потерь, как сумма мелкой фракции, отсева и 40 % крупной фракции (такое количество крупной фракции превращается в мелкую и отсев при со-

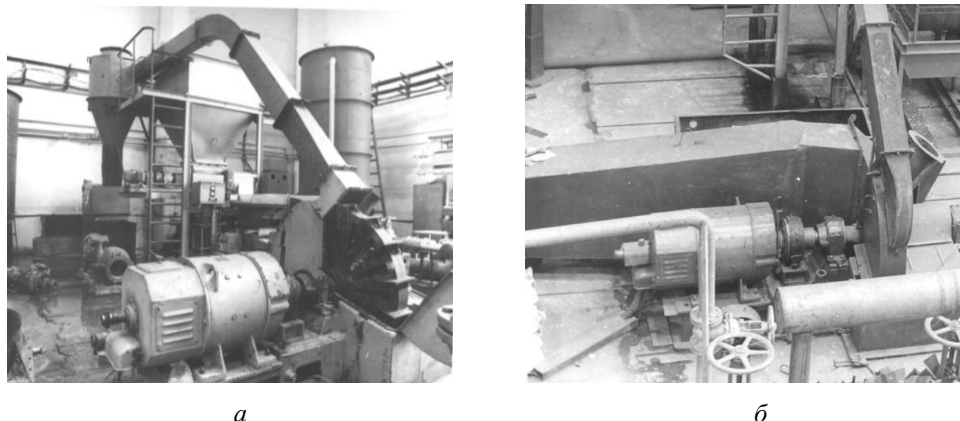


Рис. 1. Общий вид станда при верхнем (а) и горизонтальном (б) способах выброса щепы

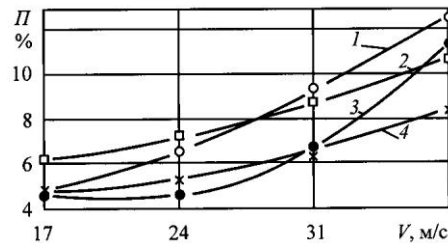
временном уровне технологии ее доизмельчения). Щепу фракционировали на анализаторе АЛГ-М в соответствии со стандартом.

На первом этапе анализа результатов рассматривали весь комплекс данных, полученных при изучении влияния формы рабочей поверхности диска и скорости резания при верхнем и горизонтальном способах выброса. Результаты были подвергнуты двухфакторному дисперсионному анализу. При определении значимости влияния этих факторов на долю потерь в щепе использовали критерий Фишера. Если упомянутый метод не позволял выявить влияние какого-либо фактора, то в дальнейшем использовали однофакторный дисперсионный анализ влияния одного фактора при фиксированном значении другого.

Верхний выброс щепы. Анализ всего комплекса данных, полученных в диапазоне скоростей резания от 17 до 38 м/с при геликоидальном и плоском вариантах наладки ротора, показал, что влияние скорости резания на количество образующихся потерь значимо. Незначительно влияние совместного действия скорости резания и формы рабочей поверхности диска. Форма рабочей поверхности диска и заточки ножей практически не сказывается на фракционном составе щепы и содержании в ней потерь.

Увеличение скорости резания сопровождается уменьшением в щепе доли крупной фракции. Процесс этот протекает одинаково при геликоидальной и плоской наладках ротора. Доля крупной фракции в щепе, полученной на установке с геликоидальной формой рабочей поверхности диска и заточки ножей, при прочих равных условиях всегда меньше, чем на установке с плоской наладкой ротора. Содержание мелкой фракции и отсева в щепе с ростом скорости резания увеличивается. При плоской рабочей поверхности диска и прямой заточке ножей этот процесс идет медленнее по причине общего «закрупнения» щепы при такой наладке ротора. По этой же причине при скорости резания  $> 30$  м/с и плоской наладке доля кондиционной фракции в щепе больше, а потерь меньше. Однако доля потерь при этой скорости резания почти в два раза больше, чем при

Рис. 2. Зависимость количества потерь  $\Pi$  от скорости резания  $V$  при различных формах наладки рабочей поверхности ротора: 1, 3 – геликоидальная форма; 2, 4 – плоская форма; 1, 2 – верхний выброс; 3, 4 – горизонтальный выброс



скорости 17 м/с. Это позволяет сделать предположение, что преимущества той или иной формы заточки ножей и рабочей поверхности диска могут проявиться при верхнем выбросе щепы на скоростях резания, близких к 17 м/с. Дальнейшее снижение скорости резания (соответственно частоты вращения диска) неизбежно приведет к прекращению выброса щепы из кожуха машины.

Анализ результатов, полученных при верхнем выбросе, показал, что для обоих вариантов наладки диска скорость резания 17 м/с обеспечивает наименьшую долю потерь в щепе (рис. 2). Поэтому скорость резания была оценена влиянием формы рабочей поверхности диска и заточки ножей.

Установлено, что при скорости резания 17 м/с форма рабочей поверхности диска и заточки ножей оказывает значимое влияние на долю потерь в щепе. При геликоидальной рабочей поверхности диска и заточке ножей доля потерь в щепе на 1,3 % меньше.

Горизонтальный выброс щепы. При таком способе выброса форма рабочей поверхности и заточки ножей оказывают влияние на долю потерь в щепе. Однако, если рассматривать весь диапазон скоростей, при которых проводили эксперименты, то можно отметить, что влияние этого параметра хоть и значимо, но невелико.

С увеличением скорости резания при плоской рабочей поверхности диска и прямой заточке ножей доля потерь в щепе растет медленнее, чем при геликоидальной форме. Например, доля потерь в щепе при скорости резания 38 м/с с геликоидальной наладкой на 2,7 % больше, чем с плоской.

Дополнительно было исследовано влияние формы наладки ротора при горизонтальном выбросе на скорости резания 24 м/с. В этих условиях был получен самый большой выход кондиционной фракции (наименьшая доля потерь). Сравнение двух способов наладки рабочей поверхности диска показало, что доля потерь в щепе при плоской наладке в этом случае на 0,5 % больше.

Таким образом, можно сделать вывод, что влияние формы рабочей поверхности диска и заточки ножей на качество щепы зависит от скорости резания и способа выброса щепы из рубительной машины. Замена плоской рабочей поверхности диска и прямой заточки ножей на геликоидальную при верхнем выбросе щепы уменьшает долю потерь древесного сырья в среднем на 1,3 %, при горизонтальном – на 0,5 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Башкиров, А.П.* Совершенствование конструкции рубительных машин [Текст] / А.П. Башкиров, В.А. Толпыго, В.П. Чуприн // *Деревообраб. пром-сть.* – 1974. – № 9. – С. 5–6.
2. *Вальщиков, Н.М.* Рубительные машины [Текст] / Н.М.Вальщиков. – Л.: Машиностроение, 1970. – 328 с.
3. *Житков, О.В.* Хранение и подготовка древесного сырья в целлюлозно-бумажной промышленности [Текст] / О.В. Житков, Е.М. Мазарский. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 224 с.
4. *Калашников, Ю.А.* Угол заточки рубительных ножей и качество щепы [Текст] / Ю.А. Калашников // *Лесн. пром-сть.* – 1971. – № 8. – С. 28–29.
5. *Лаутнер, Э.М.* Основы теории получения технологической щепы и разработка нового поколения дисковых рубительных машин: науч. докл. на соискание ученой степени докт. техн. наук [Текст] / Э.М. Лаутнер. – СПб: СПбЛТА, 1996. – 52 с.
6. *Рушинов, Н.П.* Рубительные машины [Текст] / Н.П. Рушинов, Э.П. Лицман, Е.А. Пряхин. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 208 с.
7. *Шамолин, Д.И.* Исследование динамических характеристик дисковых рубительных машин [Текст]: автореф. ... канд. техн. наук / Д.И. Шамолин. – Л., 1980. – 17 с.

Петрозаводский государственный  
университет

Поступила 18.12.06

*S.B. Vasiljev, I.V. Simonova*

### **Influence of Disc Chipper Characteristics on Chip Quality**

It is established that effect of forms of a disc working face and knives' sharpening of a chipper depend on the cutting speed.

---

УДК 674.093

**Л.С. Суровцева, М.М. Царева**

Суровцева Любовь Савватьевна 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.



Царева Маргарита Михайловна родилась в 1950 г., окончила в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, старший преподаватель кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 печатных работ в области раскроя и сушки пиломатериалов.

**ПОТЕРИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТОРЦОВКЕ ТОНКИХ ДОСОК**

Установлено, что при торцовке тонких досок на автоматических триммерных установках неизбежны потери древесины за счет удаления не только дефектных отрезков, но и бездефектных участков (длина доски укорачивается в среднем на 0,23 м); общие потери древесины составляют в среднем 1,5 % от объема распиленного сырья.

*Ключевые слова:* предварительная торцовка, тонкие доски, потери древесины, триммерные торцовочные устройства, длина отрезка с вершинного торца, длина отрезка с комлевого торца, пороки древесины, дефекты обработки.

По существующей технологии на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях толстые доски торцуют, как правило, один раз после сушки, тонкие доски – предварительно до сушки и окончательно после нее. Проведенные исследования на ряде лесопильно-деревообрабатывающих предприятий г. Архангельска показали, что эффективно предварительно торцевать не более 50 % тонких досок, остальные пиломатериалы достаточно торцевать только один раз окончательно после сушки [1, 2].

Большинство крупных лесопильно-деревообрабатывающих предприятий имеют участки для предварительной торцовки тонких досок, оснащенные триммерными автоматическими торцовочными установками с расположением пил через 0,3 м. С комлевого торца доски возможно дополнительно торцевать на 0,15 м.

При использовании таких устройств, где доски автоматически устанавливают относительно места реза, неизбежно вместе с дефектными участками удаляют и бездефектные, что приводит к уменьшению длины доски и снижению выхода пилопродукции.

---

На лесопильно-деревобрабатывающих предприятиях г. Архангельска были проведены исследования по определению потерь древесины при автоматической торцовке тонких досок по сравнению с ручной установкой места реза на доске. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Исследованиями установлено:

а) длина отрезка, удаляемого с вершинного торца доски, в зависимости от диаметра бревна и постава:

при ручной установке досок колеблется от 1,07 до 1,28 м; средняя длина отрезка с вершинного торца для исследуемых досок – 1,17 м;

**Потери древесины при торцовке тонких досок на автоматических торцовочных устройствах**

Диаметр, см	Постав	Длина отрезков досок, м, с торца						Суммарные потери, м	Уменьшение длины доски			Суммар- ные потери по длине, м
		вершинного			комлевого				Количество		Градация, м	
		Ручная устано- вка	Автомати- ческая установка	Потери	Ручная установка	Автомати- ческая установка	Потери		шт.	%		
12...13	1×100; 2×22	1,49	1,59	0,10	0,69	0,81	0,12	0,22	7	23,3	0,3	2,1
	1×38; 2×22	1,06	1,15	0,09	1,18	1,28	0,10	0,19	8	26,7	0,3	2,4
	<b>Среднее значение</b>	1,28	1,37	0,10	0,94	1,05	0,11	0,21	–	25,1	–	2,25
14...16	1×100; 4×22;	1,05	1,08	0,03	1,47	1,58	0,11	0,14	5	16,7	0,3	1,5
	2×38; 4×22	1,31	1,41	0,10	0,76	0,83	0,07	0,17	8	26,7	0,3	2,4
	<b>Среднее значение</b>	1,18	1,25	0,07	1,12	1,21	0,09	0,16	–	22,8	–	1,95
14...16	1×100; 2×22; 2×44; 4×22	1,34	1,42	0,08	0,70	0,80	0,10	0,18	9	30,0	0,3	2,7
		0,98	1,10	0,12	0,79	0,90	0,11	0,23	10/1	40,0	0,3/ 0,6	3,6
		1,06	1,20	0,14	0,56	0,69	0,13	0,27	12/1	46,7	0,3/ 0,6	4,2
		0,63	0,76	0,13	0,71	0,73	0,02	0,15	8	26,7	0,3	2,4
		1,09	1,23	0,14	0,61	0,75	0,14	0,28	12/1	46,7	0,3/ 0,6	4,2
		1,46	1,58	0,12	0,71	0,89	0,18	0,30	12	40,0	0,3	3,6
		1,03	1,20	0,17	0,55	0,73	0,18	0,35	9/1	36,7	0,3/ 0,6	3,3
		1,07	1,20	0,13	0,72	0,90	0,18	0,31	11/1	43,3	0,3/ 0,6	3,9
		1,32	1,43	0,11	1,12	1,28	0,16	0,27	12/1	46,7	0,3/ 0,6	4,2
		<b>Среднее значение</b>	1,11	1,24	0,13	0,72	0,85	0,13	0,26	–	41,1	–
118...20	1×100; 6×22;	1,20	1,34	0,14	1,22	1,39	0,17	0,31	12/1	46,7	0,3/ 0,6	4,2
	2×38; 6×22	1,03	1,20	0,17	0,49	0,54	0,06	0,23	10	33,3	0,3	3,0
		1,19	1,33	0,14	0,76	0,90	0,14	0,28	15	50,0	0,3	4,5
<b>Среднее значение</b>	1,14	1,29	0,15	0,82	0,94	0,12	0,27	–	44,5	–	3,9	





Окончание таблицы

Диаметр, см	Постав	Длина отрезков досок, м, с торца						Суммарные потери, м	Уменьшение длины доски			Суммар- ные потери по длине, м
		вершинного			комлевого				Количество		Градация, м	
		Ручная устано- вка	Автомати- ческая ус- тановка	Потери	Ручная установка	Автомати- ческая установка	Потери		шт.	%		
18...20	1×125; 4×22; 2×50; 4×22	0,92	1,03	0,11	0,58	0,74	0,16	0,27	14	46,7	0,3	4,2
		0,83	0,93	0,10	0,87	0,98	0,11	0,21	11/1	43,3	0,3/ 0,6	3,9
		1,48	1,70	0,22	0,59	0,64	0,05	0,27	12	40,0	0,3	3,6
		2,07	2,18	0,11	0,97	1,09	0,12	0,23	9	30,0	0,3	2,7
		1,09	1,19	0,10	0,71	0,78	0,07	0,17	9	30,0	0,3	2,7
		1,10	1,20	0,10	0,77	0,93	0,16	0,26	11/1	40,0	0,3/ 0,6	3,9
Среднее значение		1,25	1,37	0,12	0,75	0,86	0,11	0,23	–	34,6	–	3,5
22...24	1×125; 6×22; 4×38; 6×22	0,97	1,07	0,10	0,67	0,75	0,10	0,20	8	33,3	0,3/ 0,6	3,0
		1,06	1,09	0,03	0,95	1,10	0,15	0,18	10	33,3	0,3	3,0
		1,25	1,38	0,13	0,79	0,94	0,15	0,28	8	26,7	0,3	2,4
		1,00	1,11	0,11	1,71	1,80	0,09	0,20	6	20,0	0,3	1,8
Среднее значение		1,07	1,16	0,09	1,03	1,15	0,12	0,21	–	29,2	–	2,25
Итого		1,17	1,29	0,12	0,90	1,01	0,11	0,23	–	36,7	–	2,95

Примечание. В числителе приведены данные при укорочении 0,3 м, в знаменателе – 0,6 м



при автоматической установке досок – от 1,16 до 1,37 м; средняя длина отрезка для партии досок – 1,29 м;

б) длина отрезка, удаляемого с комлевого торца доски, в зависимости от диаметра бревна и постава:

при ручной установке досок изменяется от 0,72 до 1,12 м; средняя длина отрезка – 0,90 м;

при автоматической установке досок – от 0,85 до 1,15 м; средняя длина – 1,01 м.

При этом длина доски с вершинного торца в зависимости от диаметра и постава уменьшается на 0,07 ... 0,15 м и в среднем составляет 0,12 м; с комлевого – соответственно на 0,09 ... 0,13 м и 0,11 м. Суммарные потери в виде чистой бездефектной древесины на одну доску, которую предварительно торцуют, равны 0,23 м.

Расчеты показывают, что потери древесины при автоматической установке доски с предварительной торцовкой доходят до 8,2 % от объема торцуемых сырых тонких досок или 4,1 % от всех выпиленных тонких пиломатериалов. Потери объема распиленных круглых сортиментов составляют в среднем 0,85 %.

Кроме потерь древесины, не содержащей пороков или дефектов, 36,7 % досок уменьшаются по длине на 0,3 м, что приводит к дополнительному укорочению боковых тонких досок, которые выпиливают, как правило, из сбеговой зоны бревна. Их длина при раскрое становится меньше длины бревна.

Только за счет уменьшения длины доски при предварительной торцовке теряется до 5,5 % от объема подлежащих торцовке тонких досок, 2,8 % от всех выпиленных тонких досок или 0,6 % от объема распиленного сырья.

Общие потери древесины при торцовке тонких досок на устройствах, где место реза фиксируется автоматически, в среднем составляют до 1,5 % от объема распиленного сырья.

Проведенные нами исследования показали, что весь объем тонких досок не требует предварительной торцовки в сыром виде. Следовательно, торцовку даже большого количества одновременно выпиливаемых тонких досок можно осуществлять на торцовочных устройствах, где доска для торцовки устанавливается вручную точно по явному пороку, что позволяет сократить потери древесины за счет необоснованного удаления бездефектной части, увеличить длину и объем готовой пилопродукции. Все это в конечном итоге будет способствовать увеличению прибыли предприятия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Суровцева, Л.С.* Новое в технологии торцовки тонких досок [Текст] / Л.С. Суровцева, М.М. Царева // Лесн. журн. – 2001. – № 5-6. – С. 107–112. – (Изв. высш. учеб. заведений).

2. *Суровцева, Л.С.* Резервы повышения выхода пиломатериалов [Текст]: отчет о НИР «Разработка высокомеханизированных и автоматизированных произ-

водств по переработке древесины» / АГТУ; исполн.: Суровцева Л.С., Царева М.М. – Архангельск, 2000. – С. 14–24.

Поступила 30.06.05

Архангельский государственный  
технический университет

*L.S. Surovtseva, M.M. Tsareva*

### **Wood Loss under Preliminary Slat Trimming**

It is established that wood loss is inevitable under slat trimming in the automatic trimming devices owing to removing not only defective, but defect-free sections. The slat length is shortened on 0.23 m; the total wood loss makes on average 1.5 % of the sawn wood volume.



УДК 674.023:621.9

**И.Т. Глебов**

Глебов Иван Тихонович родился в 1938 г, окончил в 1961 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры станков и инструментов Уральского государственного лесотехнического университета, почетный работник высшей школы. Имеет более 100 научных трудов.



## РАСЧЕТ КАСАТЕЛЬНОЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Предложены формулы, развивающие расчетный метод А.Л. Бершадского, для силы резания при толщине стружки менее 0,1 мм, силы резания по задней поверхности лезвия и коэффициента затупления.

*Ключевые слова:* резание, древесина, сила, лезвие, затупление, режущая кромка, срезаемый микрослой, коэффициент затупления.

В последние годы автором предложены новые идеи в теории резания древесины, развивающие метод А.Л. Бершадского и позволяющие повысить точность расчетов.

По данным А.Л. Бершадского единичную касательную силу резания в зависимости от толщины срезаемого слоя (макро- (без индекса) и микрослой (с индексом «м»)) определяют по следующим формулам [1, 2]:

при  $a \geq 0,1$  мм

$$F_{x1} = \alpha_p p + ka; \quad (1)$$

при  $a \leq 0,1$  мм

$$F_{x1m} = \alpha_p F_{x31} + k_m a_m, \quad (2)$$

6\*

где  $\alpha_p$  – коэффициент затупления режущей кромки лезвия;

$p$  – фиктивная сила резания, Н/мм;

$k$  – касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия, МПа;

$a$  – толщина срезаемого слоя, мм;

$F_{x31}$  – касательная сила резания по задней поверхности лезвия, Н/мм (для острого лезвия по А.Л. Бершадскому  $F_{x31} = 0,2p$ ).

**Изменение силы резания в диапазоне микрослоев. Вывод расчетной формулы.** В диапазоне микрослоев ( $a \leq 0,1$  мм) зависимость единичной касательной силы резания от толщины срезаемого слоя имеет параболическую форму (рис. 1). Общее уравнение параболы в осях координат  $F_{x1}$  и  $a$ :

$$F_{x1} = ca^2 + da + e, \quad (3)$$

где  $c, d, e$  – параметры параболы.

Взяв первую производную от функции (3) по  $a$  и приравняв ее нулю, найдем абсциссу и ординату вершины параболы. Парабола проходит через

точку  $E$ . Вершина параболы расположена в точке  $A$  со следующими координатами:

$$a_A = 0G = 0,1 = -\frac{d}{2c}; \quad (4)$$

$$F_{x1A} = AG = F_{x0,1} = \frac{4ce - d^2}{4c},$$

где  $F_{x0,1}$  – касательная сила резания для острого лезвия при толщине срезаемого слоя 0,1 мм,  $F_{x0,1} = p + 0,1k$ .

Из уравнения (4) получим

$$d = -0,2c; \quad (5)$$

$$4ce - d^2 = 4c F_{x0,1}.$$

Парабола проходит через точку  $E$  со следующими координатами:

$$a_E = -\rho_0; \quad (6)$$

$$F_{x1E} = 0,$$

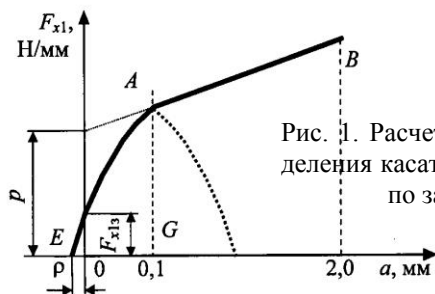


Рис. 1. Расчетная схема для определения касательной силы резания по задней грани

где  $\rho_0$  – начальный радиус закругления режущей кромки, мм.

Подставим эти координаты в уравнение (3):

$$0 = c\rho_0^2 - d\rho_0 + e \quad (7)$$

или

$$e = -c\rho_0^2 + d\rho_0;$$

получим систему уравнений для определения параметров параболы:

$$\begin{cases} d = -0,2c; \\ 4ce - d^2 = 4cF_{x0,1}; \\ e = -c\rho_0^2 + d\rho_0. \end{cases} \quad (8)$$

Решив уравнения (8), будем иметь формулы для параметров параболы:

$$c = -\frac{F_{x0,1}}{\lambda}; \quad d = \frac{0,2F_{x0,1}}{\lambda}; \quad e = F_{x0,1}\left(1 - \frac{0,01}{\lambda}\right). \quad (9)$$

Обозначим  $\lambda = \rho_0^2 + 0,2\rho_0 + 0,01$ .

Следовательно,

$$F_{x1} = (p + 0,1k) \left( -\frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a + 1 - \frac{0,01}{\lambda} \right). \quad (10)$$

**Сила резания по задней поверхности лезвия.** При  $a = 0$  парабола пересекает ось ординат в точке, соответствующей значению силы резания по задней поверхности лезвия. Таким образом, для острого лезвия

$$F_{x3} = (p + 0,1k) \left( 1 - \frac{0,01}{\lambda} \right)$$

или

$$F_{x3} = (p + 0,1k) \left( 1 - \frac{0,01}{\rho_0^2 + 0,2\rho + 0,01} \right). \quad (11)$$

Пренебрегая значением  $\rho_0^2$  в виду его малости, упрощая выражение и переходя к размерности  $\rho$  в микронах, получим формулу для расчета единичной касательной силы резания по задней поверхности острого лезвия:

$$F_{x3} = (p + 0,1k) \left( \frac{\rho_0}{\rho_0 + 50} \right). \quad (12)$$

**Примеры.**

1. По Е. Кивимаа при резании березы в торец и  $\rho_0 = 5$  мкм,  $F_{x1} = 4 + 38a$ :

$$F_{x3} = (4 + 0,1 \cdot 38) \left( \frac{5}{5 + 50} \right) = 0,71 \text{ Н/мм.}$$

В фиктивной силе резания доля силы резания по задней поверхности составляет

$$F_{x13} = \frac{0,71}{p} p = \frac{0,71}{4} p = 0,18p.$$

2. В исследованиях В.Г. Морозова при фрезеровании древесины единичная касательная сила резания выражена уравнением  $F_{x1} = 1,5 + 13a$ , сила резания по задней поверхности –  $F_{x13} = 0,26$  Н/мм:

$$F_{x13} = \frac{0,26}{p} p = \frac{0,26}{1,5} p = 0,17p.$$

Расчетные значения  $F_{x13}$  по Е. Кивимаа и В.Г. Морозову близки к принятым А.Л. Бершадским:  $F_{x13} = 0,2p$ . Отклонения составляют соответственно 10 и 15 %.

**Касательное давление на переднюю поверхность.** Точка  $A$  (рис. 1) является общей для участков макро- и микрослоев при их толщине 0,1 мм [3]. Напишем уравнение для силы резания при  $a = 0,1$  мм:

для макрослоев

$$F_{x1} = p + 0,1k;$$

для микрослоев

$$F_{x1M} = F_{x3} + 0,1k_M;$$

$$F_{x1M} = (\alpha_p p + 0,1k) \frac{\rho}{\rho + 50} + 0,1k_M.$$



Приравняем  $F_{x1}$  и  $F_{x1M}$ :

$$p + 0,1k = (\alpha_p p + 0,1k) \frac{\rho}{\rho + 50} + 0,1k_m.$$

Отсюда

$$k_m = (\alpha_p p + 0,1k) \frac{500}{\rho_0 + \Delta\rho + 50}, \quad (13)$$

где  $\Delta\rho = \rho - \rho_0$  – прирост радиуса закругления, мкм (рис. 2).

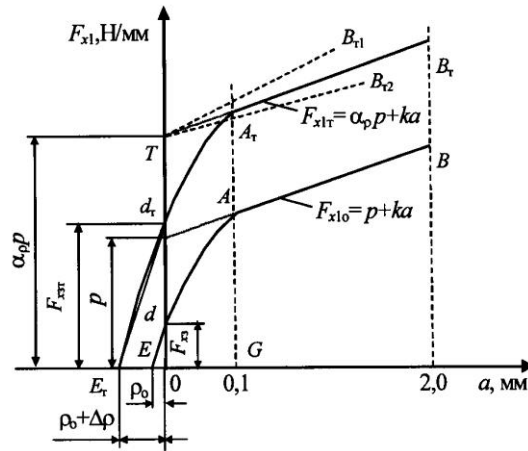


Рис. 2. Графики для расчета коэффициента затупления

**Учет затупления лезвий.** По мере затупления режущих кромок лезвий значения касательной силы увеличиваются, что учитывают коэффициенты затупления по задней  $\alpha_{p3}$  и передней  $\alpha_{pн}$  поверхностям лезвия.

Было предложено рассчитывать единичную касательную силу резания для затупленного лезвия по следующей формуле:

$$F_{x1T} = \alpha_{p3} p + \alpha_{pн} ka. \quad (14)$$

Коэффициент  $\alpha_{pн}$  при резании массивной древесины незначительно отличается от единицы, поэтому принимают  $\alpha_{pн} = 1$ . На рис. 2 линией  $EdAB$  представлен график зависимости касательной силы резания для острого лезвия, линией  $E_T d_T A_T B_T$  – для тупого. Фиктивную силу резания для тупого лезвия определяют с учетом коэффициента затупления  $\alpha_p$ :  $p_T = \alpha_p p$ .

Из точки  $T$  проходит прямая линия  $A_T B_T$ , отражающая зависимость касательной силы резания от толщины срезаемых макрослоев. Если  $\alpha_{pн} = 1$ , то прямые линии  $AB$  и  $A_T B_T$  должны быть параллельны.

Уравнение параболы  $AdE$ :

$$F_{x1} = (p + 0,1k) \left( -\frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a + 1 - \frac{0,01}{\lambda} \right).$$

При  $a = 0$  парабола пересекает ось ординат в точке, соответствующей значению силы резания по задней грани лезвия. Таким образом, переводя значения  $\rho_0$  в микроны, получим:

для острого лезвия

$$F_{xz} = (p + 0,1k) \left( \frac{\rho_0}{\rho_0 + 50} \right); \quad (15)$$

для тупого лезвия

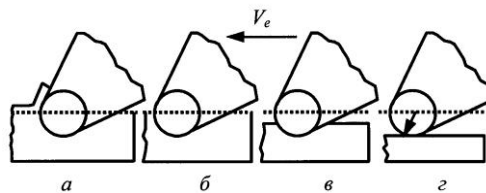
$$F_{xz,т} = (\alpha_p p + 0,1k) \left( \frac{\rho_0 + \Delta\rho}{\rho_0 + \Delta\rho + 50} \right). \quad (16)$$

Заменяем отрезки парабол  $Ed$  и  $E_t d_t$  прямыми линиями и получим два подобных треугольника:  $0d_t E_t$  и  $0dE$ . Составим отношение сторон этих треугольников:

$$\frac{0d_t}{0d} = \frac{0E_t}{0E}. \quad (17)$$

В случае, когда касательная сила резания равна нулю,  $\rho$  – толщина срезаемого слоя (рис. 2 и 3).

Рис. 3. Положительные и отрицательные значения толщины среза:  $a - a > 0, F_x > F_{xz}$ ;  $b - a = 0, F_x = F_{xz}$ ;  $в - a < 0, F_x < F_{xz}$ ;  $z - a = -\rho, F_x = 0$



Подставим выражения (15) и (16) в (17):

$$\frac{(\alpha_p p + 0,1k)(\rho_0 + \Delta\rho)(\rho_0 + 50)}{(\rho_0 + \Delta\rho + 50)(p + 0,1k)\rho_0} = \frac{\rho_0 + \Delta\rho}{\rho_0},$$

где  $k$  – касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия, Н/мм<sup>2</sup>.

После преобразований получим формулу для коэффициента затупления режущей кромки лезвия:

$$\alpha_p = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta\rho}{\rho_0 + 50}. \quad (18)$$

Из (18) следует, чем больше  $k$  и меньше  $p$ , тем больше коэффициент затупления  $\alpha_p$ .

Пример. Определим коэффициент затупления  $\alpha_p$  при резании с  $\rho_0 = 5$  мкм и  $\Delta\rho = 20$  мкм и касательной силой резания, описанной следующими уравнениями:

$$F_{x1} = 4\alpha_p + 38a;$$

$$F_{x1} = 1,5\alpha_p + 13a.$$

Для первого уравнения:

$$\alpha_p = 1 + \frac{(1 + 0,1 \frac{38}{4})20}{5 + 50} = 1,71;$$

для второго уравнения:

$$\alpha_p = 1 + \frac{(1 + 0,1 \frac{13}{1,5})20}{5 + 50} = 1,68.$$

Для сравнения приведем расчет по формуле А.Л. Бершадского:

$$\alpha_p = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{\rho_0} = 1 + \frac{0,2 \cdot 20}{5} = 1,80.$$

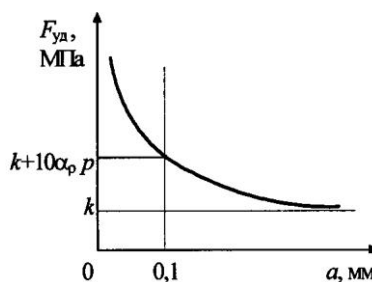
Таким образом, значения коэффициента затупления, вычисленные по формуле (18), несколько ниже, чем по формуле А.Л. Бершадского. Отклонения составляют соответственно 5,0 и 6,7 %. При этом, чем больше  $k$  и меньше фиктивная сила резания  $p$ , тем больше  $\alpha_p$ .

**Уравнения для определения единичной касательной силы резания.** С учетом коэффициента затупления  $\alpha_p$  могут быть найдены касательные единичные силы резания при работе лезвием любой степени затупления:

для макрослоев

$$F_{x1} = \alpha_p p + ka; \quad (19)$$

Рис. 4. Зависимость удельной силы резания от толщины среза



для микрослоев

$$F_{x1m} = (\alpha_p p + 0,1k) \left( -\frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a + 1 - \frac{0,01}{\lambda} \right), \quad (20)$$

где  $\lambda$  – коэффициент,  $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$  ( $\rho$  подставляют в миллиметрах).

**Зависимость удельной силы резания от толщины срезаемого слоя.** Для определения удельной силы резания надо главную составляющую (касательную) силы резания поделить на площадь поперечного сечения среза или касательную единичную силу при ширине среза 1 мм поделить на толщину срезаемого слоя.

Для макрослоев

$$F_{уд} = \frac{F_{x1}}{a} = k + \frac{\alpha_p p}{a} . \quad (21)$$

Уравнение (21) является уравнением гиперболы. Найдя предельные значения  $F_{уд}$  при  $a \rightarrow 0$  и  $a \rightarrow \infty$ , получим оси асимптот  $a = 0$  и  $F_{уд} = k$ . График зависимости удельной силы резания от толщины срезаемого слоя приведен на рис. 4. С ростом толщины среза убывает  $F_{уд}$ .

Для микрослоев

$$F_{уд.м} = \frac{F_{x1м}}{a_m} .$$

**Силы резания при пилении древесины.** При пилении с учетом трения пилы в пропиле уравнения для единичной касательной силы резания при резании одним зубом имеют следующий вид:

при  $a \geq 0,1$  мм

$$F_{x1} = [\alpha_p p + (k + \frac{\alpha t}{b})a] a_n a_m ;$$

при  $a \leq 0,1$  мм

$$F_{x1м} = [(\alpha_p p + 0,1(k + \frac{\alpha t}{b}))(-\frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a + 1 - \frac{0,01}{\lambda})] a_n a_m ,$$

где  $k_{тр} = \frac{\alpha t}{b}$  – удельное сопротивление трения пилы в пропиле.

Таким образом, выведены формулы для расчета главной составляющей силы резания в зависимости от толщины срезаемого слоя в диапазоне микрослоев; получены новые формулы для определения силы резания по задней поверхности лезвия и коэффициента затупления. Приведенные формулы позволяют повысить точность расчетов режимов резания древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бершадский, А.Л. Расчет режимов резания древесины [Текст] / А.Л. Бершадский. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 175 с.
2. Бершадский, А.Л. Резание древесины [Текст] / А.Л. Бершадский, Н.И. Цветкова. – Минск: Вышейш. шк., 1975. – 303 с.
3. Глебов, И.Т. Резание древесины [Текст] / И.Т. Глебов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. – 151 с.

Поступила 30.06.05

Уральский государственный  
лесотехнический университет

*I.T. Glebov*

**Calculation of Tangential Force in Wood Cutting**

---

The formulae developing the calculation method by A.L. Bershadsky are offered for cutting force at shaving thickness of less than 0,1 mm, cutting force at the edge back surface and blunting coefficient.

---



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 634.0.866

***В.И. Антонов, В.И. Ягодин***

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



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



### **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОБРАБОТКИ КОРЫ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ НА ВЫХОД И КАЧЕСТВО ПРОДУКТОВ**

Установлено, что выход и качественные показатели эфирных масел, липидных концентратов, воска и кормовой муки, получаемых при пропарке и/или экстракции бензином коры пихты сибирской зависят от продолжительности пропарки.

*Ключевые слова:* отгонка, концентрат липидный, кора пропаренная, воск, экстракт водный.

Древесная кора является многотоннажным отходом перерабатывающих древесину предприятий, поэтому изыскание приемлемых и рациональных схем ее использования – актуальная задача.

Кора пихты сибирской служит сырьем для получения эфирного масла [3], а также может перерабатываться экстракционными методами [1].

Цель данной работы – изучить влияние способа обработки древесной коры пихты на выход и качество получаемых продуктов.

Переработке подвергалось сырье Канского леспромхоза Красноярского края, состоящее из 93,5 % коры и 6,5 % древесины и полученное от окорочных станков марки ОК-63-1. Работу проводили в цехе лесобиохимии Лисинского учебно-опытного лесхоза СПбЛТА. Кору измельчали на дробилке «Волгарь-5» до частиц не более 10 мм. Гранулометрический состав сырья: остаток на сите с отверстиями диаметром 10 мм – 16,6 %; 7 мм – 15,5; 5 мм – 20,7; 3 мм – 22,0; 2 мм – 11,7; 1 мм – 9,1; остаток на поддоне – 4,4 %. Программа работ предусматривала отгонку эфирного масла от ко-

Таблица 1

**Характеристика коры в зависимости от продолжительности  
и способа обработки**

Кора	Массовая доля, %				Перевари- мость, %
	влаги	эфирного масла	липидных компонен- тов	водорастворимых веществ	
Исходная	46,7	0,84	9,7	19,2	27,7
Пропаренная:					
2 ч	44,5	0,16	9,4	19,0	28,0
4 ч	42,7	0,13	7,8	16,7	28,3
7 ч	43,7	Отсут.	7,2	16,3	28,7
Пропаренная и проэкстрагированная:					
2 ч	32,2	Отсут.	3,2	16,3	29,7
4 ч	32,5	Отсут.	3,0	14,3	30,1
7 ч	31,2	Отсут.	1,0	14,2	30,8
Проэкстрагированная 3 ч	35,4	0,08	3,6	14,8	29,4

ры при температуре греющего пара 127 ... 132 °С с последующей экстракцией по совмещенному водно-бензиновому способу [2] в течение 3 ч. Соотношение кора:бензин:вода равно 1,0:0,7:0,5 (% мас.).

Сравнение образцов древесной коры, обработанных разными способами (табл. 1), показало, что отгонка эфирного масла в основном (85 %) заканчивается за 4 ч, хотя обработка коры паром в течение 2 ч позволяет отогнать 81 % масла. При пропарке изменяется количество липидных компонентов и водорастворимых веществ в коре, причем значительное снижение их содержания наблюдается уже после 2 ч обработки. Липидных компонентов теряется почти 20 %, водорастворимых – 13 %. За этот же период переваримость коры увеличивается на 3,6 %, вероятно, в результате расшатывания лигноуглеводного комплекса сырья и частичного его гидролиза под действием пара.

Последующее экстрагирование обеспечивает снижение доли экстрактивных веществ. Более длительная пропарка позволяет проэкстрагировать почти 90 % липидов и 26 % водорастворимых веществ. После пропаривания и экстрагирования переваримость коры возрастает на 11 % по сравнению с исходным сырьем. Совмещенная экстракция обеспечивает извлечение 90 % эфирного масла, 63 % липидных компонентов и 23 % водорастворимых веществ. Характеристика эфирного масла приведена в табл. 2.

По мере увеличения продолжительности отгонки эфирного масла в нем возрастает доля борнилацетата. Экстракционное масло, полученное при выделении липидного концентрата из бензинового экстракта, отличается от продукта паровой отгонки более высокой плотностью и долей борнилацетата. Выход экстракционного продукта несколько ниже по причине потери легколетучих компонентов при отгонке масла от бензина-растворителя.

Таблица 2

**Выход и качественные показатели пихтового масла**

Способ получения	Выход, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Число, мг КОН/г			Массовая доля борнилацетата и борнеола, %
			кислотное	эфирное	омыления	
Отгонка:						
2 ч	0,026	873	0,96	25,01	25,97	10,00
4 ч	0,028	873	0,96	27,02	27,98	11,63
7 ч	0,029	874	0,96	29,07	30,03	11,93
Экстракция	0,023	918	2,21	36,05	38,26	14,42

Таблица 3

**Выход и качественные показатели липидного концентрата**

Способ получения	Выход, %	Массовая доля, %		
		влаги	кислот	нейтральных веществ
Отгонка и экстракция:				
2 ч	2,63	19,5	63,2	36,8
4 ч	2,48	17,3	64,4	35,6
7 ч	2,44	16,3	64,2	35,8
Экстракция	3,30	17,8	69,3	30,7

Таблица 4

**Выход и качественные показатели воска**

Способ получения	Выход, %	Массовая доля, %		Число, мг КОН/г			Температура каплепадения, °С
		механических примесей	воды и летучих веществ	кислотное	эфирное	омыления	
Отгонка и экстракция:							
2 ч	1,88	2,33	0,40	53,22	33,56	87,78	80
4 ч	1,88	2,24	0,22	55,47	33,29	88,76	79
7 ч	1,94	2,44	0,18	53,53	33,53	87,06	80
Экстракция	1,45	1,27	0,89	76,43	51,50	127,93	80

Из бензинового экстракта выделены липидный концентрат (табл. 3) и воскообразные вещества (табл. 4).

Выход липидного концентрата при многочасовом пропаривании сырья и последующей экстракции снижается из-за потерь. Совмещенная экстракция обеспечивает более высокий выход липидного концентрата в связи с понижением температуры процесса извлечения до 75 °С (образование азеотропной паровой смеси системы бензин–вода).

Полученный экстракцией воск отличается от продуктов, выделенных с применением предварительной пропарки, меньшим выходом, низкой долей механических примесей (кора меньше разрушена) и более высоким содержанием кислых составляющих и эфиров.



Таблица 5

## Качественные показатели водного экстракта

Способ получения	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %		
		сухого остатка	нерастворимых в воде веществ (от сухого остатка)	зола (от сухого остатка)
Отгонка и экстракция:				
2 ч	1010	3,76	7,92	4,42
4 ч	1010	4,98	8,17	4,61
7 ч	1024	6,48	8,83	5,00
Экстракция	1010	4,76	7,79	4,72

Таблица 6

## Выход и качественные показатели коровой муки

Способ получения	Выход, %	Массовая доля, %			Переваримость, %
		воды	клетчатки	сырого протеина	
Отгонка и экстракция:					
2 ч	99,6	7,3	14,4	3,8	24,1
4 ч	98,4	7,4	16,7	3,5	23,5
7 ч	88,4	9,2	20,7	2,9	22,7
Экстракция	88,8	8,3	15,6	3,6	24,4

Анализ водного экстракта (табл. 5) показывает, что путем упаривания из него можно получить препарат, который будет соответствовать ФС 42-2699–89 «Экстракт хвойный натуральный».

Пропаренная и проэкстрагированная кора была высушена и размолота до муки. Приведенные в табл. 6 данные показывают, что коровая мука содержит незначительное количество клетчатки, более 3 % протеина и имеет переваримость более 20 %. Следует отметить, что в процессе сушки и измельчения переваримость продукта снижается по сравнению с переваримостью обработанной коры, причем зависимость обратная. Такая мука может быть использована в качестве ингредиента комбинированных кормов.

*Выводы*

1. Основное количество эфирного масла от коры отгоняется за 2 ч. Качественные показатели масла паровой отгонки близки к экстракционному, хотя с увеличением продолжительности обработки повышается доля эфиров. Экстракционное масло отличается от продукта паровой отгонки, имея повышенную плотность, содержит больше кислот и эфиров.

2. Показано, что из пихтовой коры после отгонки эфирного масла можно получить путем экстракции концентраты липидных соединений, водорастворимых веществ и восков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антонов, В.И.* Комплексная экстракционная переработка коры пихты сибирской [Текст] / В.И. Антонов [и др.] // Лесохимия и подсочка: реф. инф. – 1985. – № 6. – С. 4.

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

3. *Бараков, Т.В.* Получение эфирного масла из коры пихты сибирской [Текст] / Т.В. Бараков, А.А. Голиков, Г.Н. Черняева // Современные проблемы повышения эффективности лесохимического сырья. – Химки, 1976. – С. 97–100.

Поступила 20.01.06

С.-Петербургская  
лесотехническая академия

*V.I. Antonov, V.I. Yagodin*

**Impact of Siberian Fir Bark Treatment on Product Yield and Quality**

It is established that yield and quality characteristics of volatile oils, lipid concentrations, wax and feeding meal resulting from steaming and/or extracting Siberian fir bark by benzene depend on steaming duration.



УДК 662.63

*С.А. Прокопьев, Ю.Н. Пильщиков, Ю.А. Молодцев,  
А.Я. Киповский, В.Н. Пиалкин*

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОНЕФТИ ИЗ ОТХОДОВ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ**

Предложены новая технология получения экологически чистой бионефти из древесного сырья и программа «POLY.TERM» для расчета распределения температур частиц сырья и газового теплоносителя в определенное время и в заданном сечении реторты.

*Ключевые слова:* биомасса древесины, бионефть, биомасла, пиролизные смолы, древесный уголь, формованный слой, ультрапиролиз, программа «POLY.TERM».

Накопление продуктов фотосинтеза в мире составляет до  $1,6 \cdot 10^{21}$  кДж/год (~110 млрд т условного топлива в год), что в 10 раз превышает эквивалентное энергетическое потребление в настоящее время. Можно считать, что древесная биомасса (ДБМ) составляет до 50 % от данной величины и рациональное использование такого возобновляемого сырья в энергетике позволит уверенно развивать промышленное производство для возрастающих потребностей населения.

Для бытовых и промышленных целей ДБМ можно и необходимо использовать в производстве альтернативных видов топлива. Одним из них могут стать жидкие продукты пиролиза.

В настоящее время четкого определения жидких продуктов не разработано. Чаще всего используется термин «бионефть» (БНФ).

БНФ – идеал чистого топлива, так как в продуктах ее сгорания фактически отсутствуют  $SO_x$ , а количество образующихся  $NO_x$  в 2 раза меньше, чем при сжигании ископаемого топлива. Кроме того, БНФ проще и дешевле транспортировать, хранить и использовать, чем ДБМ. Особое значение данного продукта проявляется при реализации Киотского протокола о сокращении парниковых выбросов.

Обычно энергоемкость БНФ колеблется в пределах 17 ... 29 МДж/кг при выходе от 75 до 30 % от органической части ДБМ и зависит от применяемого метода термодеструкции [2], энергетическая плотность БНФ достигает 28 ... 30 ГДж/м<sup>3</sup>. Имеются положительные результаты использования БНФ при производстве пара, в двигателях внутреннего сгорания, газо- и газопаротурбинных установках, а также в двигателях Стирлинга [6].

Сравнительная энергетическая плотность различных видов топлива приведена в табл. 1.

В настоящее время промышленно-развитые страны интенсивно разрабатывают технологию и оборудование для производства БНФ, которые базируются на методах ультрапиролиза и газификации ДБМ, так как данные

процессы энергетически самообеспечены за счет химического тепла газообразных или твердых продуктов термодеструкции.

В способах плотного слоя с внутренним нагревом заложены основы повышения удельной производительности оборудования термического разложения: концентрация сырья и относительно высокая скорость теплоносителя в реакционной зоне. В свою очередь отсутствие противотока и низкая концентрация сырья систем «сырье – теплоноситель» в кипящем слое, циркуляционном кипящем слое и слое уноса приводят к сравнительно низкому КПД использования теплоты.

Определенную перспективу представляет непрерывный противоточный процесс с получением формованного слоя и последующего термического разложения сырья в одном агрегате.

Известно, что величина теплового напряжения на единицу объема зоны термического разложения прямо пропорциональна отношению массового расхода газового теплоносителя  $G$  на единицу площади сечения  $Y$ ,

Таблица 1

Топливо	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплота сгорания (низшая), МДж/кг	Энергетическая плотность, ГДж/м <sup>3</sup>
Стружка	90	18,0	1,6
Опилки	130	18,0	2,3
Древесная щепа	400	18,0	7,2
Пеллеты	650	18,0	11,7
Древесный уголь	300	30,0	9,0
Древесноугольные брикеты	650	30,0	19,5
Пирогенная смола:			
отстойная	1086	29,5	32,0
растворимая	1180	28,6	33,7
суммарная	1150	29,0	33,3
Пиротопливо	1200	23,0	27,6
Метанол	796	22,2	17,7
Этанол	800	28,0	22,4
Дизельное топливо	800	45,0	36,0
Мазут	960	40,0	38,4
Биомасла:			
Ensyn (Канада)	1180	23,1	27,3
СПб ГЛТА	1070	30,2	32,3
Бионефть:			
Dynamotive (Канада)	1200	23,0	27,6
СПб ГЛТА	1173	26,0	30,5

плотности теплоносителя, суммарной константе скорости реакции и поверхности реагирования  $F$ . В свою очередь,  $F = 4fd$ , где  $f = Z d^2/D^2$  – порозность или отношение  $Z$  цилиндрических каналов диаметром  $d$  к общему диаметру  $D$  реакционной зоны. Следовательно, увеличение  $d$  при сохранении числа каналов  $Z$  будет способствовать увеличению  $F$ .

Формирование внутренней поверхности  $F$  и степень ее полного использования зависит от процесса образования необходимой структуры газопроницаемого слоя и равномерного распределения теплоносителя в объеме реакционной зоны.

Необходимым условием существования данного процесса является прогнозирование температур частиц сырья на поверхности, по центру, средней по массе и температурных полей по длине реактора. Ранее [3, 4] нами разработана программа «POLY.TERM» для расчета распределения температур в слое при противотоке газового теплоносителя и древесного сырья в плотном слое.

В основе алгоритма расчета температуры пиролиза лежит решение краевой задачи теплопроводности и теплового баланса [1, 5]:

уравнение теплопроводности

$$\frac{dt}{d\tau} = a \left( \frac{d^2t}{dx^2} + \frac{2}{x} \frac{dt}{dx} \right);$$

уравнение теплового баланса

$$G_{\Gamma} C_{\Gamma} (T_2 - T_1) = G_M C_M (t_{M1} - t_{M2})$$

с краевыми и начальными условиями:

$$A_f [T_2 - m(t_{M1} - t_{M2}) - T_{\Pi}] = \lambda \left( \frac{dt}{dx} \right)_{x=R};$$

$$\tau = 0; t = t_M; T = T''$$

где

$a$  – коэффициент температуропроводности сырья;

$C_{\Gamma}$  – теплоемкость потока газового теплоносителя;

$C_M$  – теплоемкость потока сырья (материала);

$T_1, T_2$  – температуры газового теплоносителя в сечениях  $Y_1$  и  $Y_2$  от места поступления сырья;

$t_{M1}, t_{M2}$  – средние по массе температуры кускового сырья в тех же сечениях;

$A_f$  – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к сырью;

$m = \frac{G_M C_M}{G_{\Gamma} C_{\Gamma}}$  – безразмерное соотношение теплоемкостей потоков мате-

риала и теплоносителя;

$T_{\Pi}$  – температура пиролиза;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности сырья;

$R$  – радиус частицы.

Далее уравнения приводят к безразмерному виду путем введения следующих коэффициентов:

$$\text{критерий Био} - \text{Bi} = \frac{A_f R}{\lambda};$$

$$\text{критерий Фурье} - \text{Fo} = \frac{ay}{R^2 w};$$

$$\text{безразмерная координата частиц} - X = \frac{x}{R};$$

$$\text{температурный критерий для сырья} - \Theta = \frac{t - t'_M}{T'' - t'_M};$$

$$\text{температурный критерий для газа} - h = \frac{T_\Gamma - t'_M}{T'' - t'_M},$$

где  $w$  – скорость подачи теплоносителя;

$x$  – координата по толщине частиц сырья;

$t'_M$  – температура материала на входе;

$T''$  – температура газа на выходе;

$T_\Gamma$  – средняя температура газового теплоносителя в данном сечении канала.

В результате решения уравнений и ряда допущений предложены следующие формулы распределения температур частиц сырья и теплоносителя в процессе пиролиза для частного случая при  $0 < m < 1$  [3, 4]:

температура поверхности частиц,  $X = 1$ :

$$\Theta_{\text{п}} = \frac{t - t'_M}{T'' - t'_M} = \frac{1}{1 - m} + \sum_{i=1}^{\infty} C_i \operatorname{sink}_i \left( e^{-k_i^2 \text{Fo}} \right);$$

температура центра частиц,  $X = 0$ :

$$\Theta_{\text{ц}} = \frac{t_{\text{ц}} - t'_M}{T'' - t'_M} = \frac{1}{1 - m} + \sum_{i=1}^{\infty} C_i k_i \left( e^{-k_i^2 \text{Fo}} \right);$$

средняя по массе температура частиц:

$$\Theta_{\text{м}} = \frac{t_{\text{м}} - t'_M}{T'' - t'_M} = \frac{1}{1 - m} + \sum_{i=1}^{\infty} 3C_i \Phi k_i \left( e^{-k_i^2 \text{Fo}} \right);$$

температура газового теплоносителя:

$$h = \frac{T_\Gamma - t'_M}{T'' - t'_M} = 1 + m\Theta_{\text{м}},$$

где  $C_i, k_i$  – постоянные, определяемые из условий задачи.

Для определения температуры газа необходимо определить среднюю по массе температуру материала  $\Theta_{\text{м}}$  на выходе из слоя [3].

Промышленная проверка разработанной технологии пиролиза формованного слоя проведена на Верхотурском КЭЗ с использованием в качестве сырья отработанной щепы завода.

При проведении балансового опыта на установке переработано 3870 кг щепы за 12 ч, удельная производительность реторты  $5928 \text{ кг/м}^3 \text{ ч}$  [3].

Сводные показатели работы реторты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Место замера	Температура, °С	Давление, кПа
Топка	850...950	60...80
Точки по длине реактора на расстоянии от ввода теплоносителя, мм:		
200	780...830	40...50
400	500...580	20...30
400*	310...390	10...15
Коллектор	150...180	0...5
Перед каплеуловителем	130...160	80...100
После каплеуловителя	40...60	
После подаваемого воздуха	15...20	100...150

\*Длина реактора 800 мм

7\*

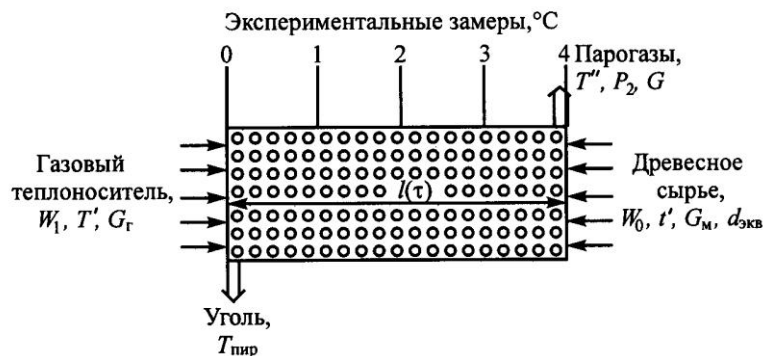


Рис. 1. Модель реторты формованного слоя (0, 1, 2, 3, 4 – термомпары ХА замера температур в реакторе балансового опыта)

Материальные потоки установки: подача сырья  $322 \text{ кг/ч}$  и воздуха на сжигание  $240 \text{ нм}^3/\text{ч}$ ;  $170 \text{ нм}^3/\text{ч}$  и на сброс  $190 \text{ нм}^3/\text{ч}$ .

Реторта обеспечивала переработку щепы с выходом продуктов пиролиза, % от абс. сухой древесины: древесный уголь – 15,04;  $28,71$ ; пироконденсат – 56,25; суммарная смола – 21,94, состоящая из отстойной (13,09) и растворимой (8,85) смолы.

Представляло определенный интерес сопоставление расчетных и экспериментальных данных распределения температурных полей в установке. Расчеты проведены для модели, схема которой представлена на рис. 1.

В качестве исходных данных для расчетов за основу приняты материальные потоки установки Верхотурского КЭЗ. Одним из определяющих факторов продолжительности процесса пиролиза  $\tau_{\text{пир}}$  является размер частиц перерабатываемого сырья  $d_{\text{экв}}$ . Отработанная щепа является полифракционной сырьем. В расчетах выделены 4 основные фракции сырья с  $d_{\text{экв}} \cdot 10^{-3}$ , м: 1 – мелкая, 1,3; 2 – усредненная, 5,1; 3 – средняя, 5,3; 4 – крупная, 7,4. По экспериментальным данным порозность ( $f$ ) слоя сырья в реторе составляла 0,2 (1-й вариант) и 0,4 (2-й вариант).

На рис. 2 представлены графики распределения температур для 1-го варианта.

По расчетным данным увеличение пористости до 0,4 (для 2-го варианта) при прочих равных условиях и аналогичных эквивалентных диаметрах частиц приводит к снижению интенсификации процесса пиролиза вследствие уменьшения скорости теплоносителя в 4 раза (от 40 до 10 м/с) и, соответственно, увеличению скорости подачи сырья от 11,05 до 14,7 м/ч и расчетной продолжительности пиролиза в среднем в 1,8 раз: 420/650/445/102,5 с – соответственно для усредненной, крупной, средней, мелкой фракций сырья.

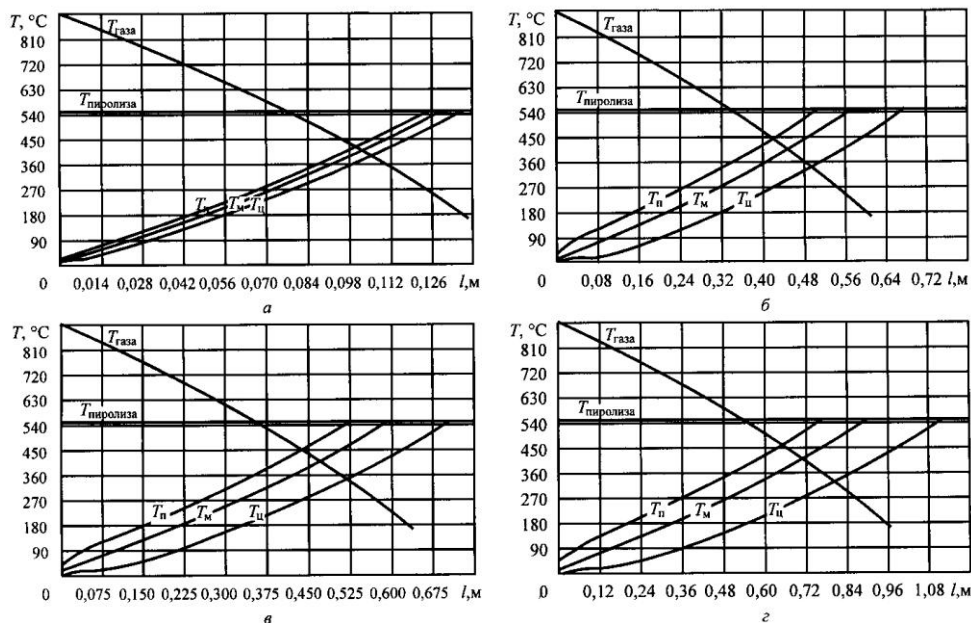


Рис. 2. Распределение расчетных температур на поверхности  $T_{\text{н}}$ , по массе  $T_{\text{м}}$ , в центре частицы  $T_{\text{ц}}$  и газового теплоносителя  $T_{\text{газа}}$  по длине реактора  $l$  при пиролизе фракций щепы с различным диаметром  $d_{\text{экв}}$  и продолжительностью пиролиза  $\tau_{\text{пир}}$ : а –  $d = 1,3 \cdot 10^{-3}$  м;  $\tau_{\text{пир}} = 45$  с; б –  $5,1 \cdot 10^{-3}$ ; 226; в –  $5,3 \cdot 10^{-3}$ ; 236; г –  $7,4 \cdot 10^{-3}$  м; 373 с



Исходные данные и результаты расчетов для 1-го варианта сведены в табл. 3 (в скобках для 2-го).

Сопоставление температур газового теплоносителя по длине реактора (продолжительность обработки) представлено на рис. 3 [3, 4].

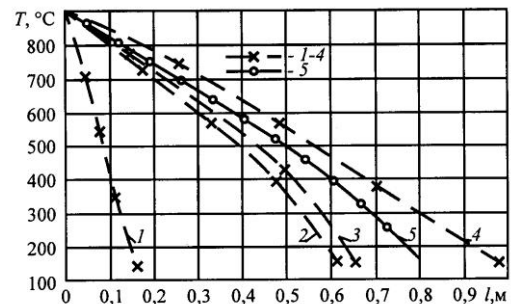
Таблица 3

Показатель	Обозначение		Значение показателя
	в тексте статьи	в программе «POLY.TERM»	
Расход сырья, кг/ч	$G_M$	$G_M$	322,0
Расход теплоносителя, кг/ч	$G_T$	$G_T$	346,5
Теплоемкость сырья, Вт/кг·°C	$C_M$	$C_M$	0,371
Теплоемкость теплоносителя, Вт/кг·°C	$C_T$	$C_T$	0,273
Скорость подачи сырья, м/ч	$u$	$U$	11,05 (14,70)
Скорость подачи теплоносителя, м/с	$w$	$W$	40 (10)
Температура теплоносителя, °C:			
на входе	$T'$	TGA	900
на выходе	$T''$	TGB	165
Температура сырья на входе, °C	$t'_M$	TC	15
Температуропроводность сырья, м <sup>2</sup> /ч	$a$	AP	0,00027

Окончание табл. 3

Показатель	Обозначение		Значение показателя
	в тексте статьи	в программе «POLY.TERM»	
Теплопроводность сырья, Вт/м·°C	$\lambda$	RL	0,269
Порозность слоя	$f$	Z	0,2 (0,4)
Эквивалентный диаметр частиц сырья фракций, $d_{\text{экв}} \cdot 10^{-3}$ , м	$d_{\text{экв}}$	D	5,1/7,4/5,3/1,3
Температура пиролиза, °C	$T_{\text{пир}}$	TK	550
Расчетная продолжительность пиролиза фракций	$\tau_{\text{пир}}$	-	226/373/236/45,6
Точность расчетов	-	-	(420/650/445/102,5) 0,0005

Рис. 3. Изменение расчетных (1 – 4) и экспериментальных (5) температур газового теплоносителя по длине реактора в зависимости от  $d_{\text{экв}}$  перерабатываемого сырья: 1 –  $d_{\text{экв}} = 1,3 \cdot 10^{-3}$  м; 2 –  $5,1 \cdot 10^{-3}$ ; 3 –  $5,3 \cdot 10^{-3}$ ; 4 –  $7,4 \cdot 10^{-3}$



Вывод

Рациональной технологией получения бионефти по-видимому, является схема с непрерывной внутриобъемной переработкой измельченного древесного сырья в формованном слое с противотоком материала и газового теплоносителя и минимальным временем пребывания парогазов в реакционной зоне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудников, В.Г. Построение математических моделей химических процессов [Текст] / В.Г. Дудников. – М.: Химия, 1969. – С. 74–90.
2. Киповский, А.Я. Роль температурно-временных факторов при ультрапиролизе древесного сырья [Текст] / А.Я. Киповский, В.Н. Пиялкин, И.И. Белоусов, С.А. Прокопьев // Лесн. журн. – 2004. – № 4. – С. 85–92. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Пиялкин, А.В. Расчет температурных критериев при пиролизе древесного сырья [Текст]: учеб. пособие. / А.В. Пиялкин, В.Н. Пиялкин. – СПб ГЛТА, 2001. – 77 с.
4. Прокопьев, С.А. Разработка технологии ультрапиролиза древесного сырья в формованном слое [Текст] / С.А. Прокопьев // Изв. СПб ГЛТА. – 2006. – Вып. 10. – С. 46–51.
5. Тимофеев, В.Н. Теплообмен в слое кусковых материалов [Текст] / В.Н. Тимофеев // Тр. ВНИИМП. – М.: Металлургия, 1962. – Вып. 8. – С. 472 – 494.
6. Piyalkin, V.N. Problems and perspectives of woodwaste bio-oil production [Text] / V.N. Piyalkin, S.A. Prokopiev, Y.N. Pilschikov, V.I. Shirshikov // Actual problems of biofuel and bioenergy: international conference. SPb. 20-22.07.2006. – P. 72–75.

Поступила 27.10.06

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

*S.A. Prokopjev, Yu.N. Pilshchikov, Yu.A. Molodtsev, A.Ya. Kipovsky  
V.N. Piyalkin*

#### **On Possibility of Recovering Bio-oil from Wood Wastes**

A new technology of recovering ecologically pure bio-oil from wooden raw material is introduced. “POLY.TERM” programme designed for calculation of temperature distribution for wood and gas coolant particles at a definite time and in a defined retort section is presented.

УДК 676.014.44

**Е.А. Шевнина, Д.Г. Чухчин, В.И. Комаров, О.М. Соколов**

Шевнина Екатерина Александровна родилась в 1979 г., окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры стандартизации, метрологии и сертификации Архангельского государственного технического университета. Имеет около 10 печатных работ в области целлюлозно-бумажного производства.



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



Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета, почетный работник высшего профессионального образования РФ, член международного научного общества EUROMECH. Имеет более 400 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



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

**ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ЦБП ДЕСТРУКТИРОВАННОЙ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ДРЕВЕСИНЫ\***

Предложено в технологии гофрокартона использовать в качестве связующего вещества, полученные из древесины с помощью электронно-пучковой плазмы.

*Ключевые слова:* клей, клеевой шов, прочность, адгезия, плазмохимический метод, деструктурированная древесина, гофрокартон.

Одна из современных технологий изменения структуры и свойств различных веществ – обработка их электронно-пучковой плазмой (ЭПП) [1].

\* Исследования проводились при поддержке РФФИ.

Воздействие ускоренными электронами происходит при пониженном давлении в среде водяного пара, при этом температура древесины не превышает 100 °С. В нашем случае обработка осиновой и березовой древесины электронным пучком проведена в среде водяного пара при давлении 1,8 кПа и ускоряющем напряжении 30 кВ, продолжительность обработки – 1 мин.

В результате воздействия ЭПП происходит деструкция древесины, снижается степень полимеризации ее компонентов, возрастает количество активных карбоксильных и карбонильных групп. При экстракции водой и щелочью в раствор переходит до 60 % от массы обработанной древесины. Установлено, что обработка ЭПП отличается отсутствием селективности по отношению к различным компонентам древесины. В результате лигнин, гемицеллюлозы и целлюлоза переходят в водорастворимое состояние в количестве, пропорциональном их содержанию в древесине [4].

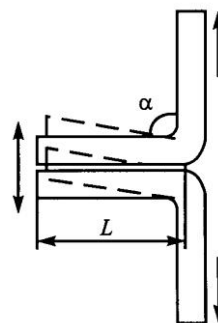
При обработке раствором NaOH деструктированной плазмохимическим методом древесины можно получить продукты, соответствующие по своим свойствам крахмалу. Наилучшие результаты были достигнуты при экстракции обработанной ЭПП лиственной древесины 6 %-м раствором NaOH, при этом образуется гелеобразное вязкое вещество светлорыжевато-коричневого цвета, обладающее адгезионными свойствами [3].

Цель наших исследований – изучить возможность применения деструктированной древесины в производстве гофротары. Нами выбрано три варианта использования клеящих веществ, полученных из древесины плазмохимическим методом:

- 1) клей в производстве гофрированного картона;
- 2) добавка для ускорения процесса размола;
- 3) связующее для проклейки в массе.

При рассмотрении 1-го варианта был необходим метод, при использовании которого, в зависимости от расхода клея, можно оценить прочность клеевого соединения.

Для оценки адгезионной прочности используют методы последовательного и одновременного отрыва. В начале эксперимента был выбран метод последовательного отрыва – ГОСТ 28966.1 – 91 «Клеи полимерные. Метод определения прочности при расслаивании» [2], применяемый и для целлюлозно-бумажных материалов. Далее метод был усовершенствован и автоматизирован. Но результаты такого определения прочности клеевого соединения являются некорректными, так как разрушение в основном происходило по адгезионно-когезионному механизму. При изменении угла отрыва  $\alpha$ , под которым разрушается образец (рис. 1), результирующая разрушающих сил смещается таким образом, что максимальное напряжение возникает не в клеевом шве, а смещается в структуру материала, как показано на рис. 2. Фактически данным методом измеряется прочность целлюлозно-бумажного материала.



Нами ранее был разработан метод одновременного отрыва [4], который учитывает специфику целлюлозно-бумажных материалов. Для того, чтобы разрушение склеенных образцов происходило по клеевому соединению, необходимо учитывать способ нанесения клеящего вещества; площадь клевого соединения; усилие, прилагаемое при склеивании образца; температуру сушки.

Был разработан специальный зажим и методика определения прочности клевого соединения, учитывающая все перечисленные особенности.

Рис. 1. Поведение образца при испытании

Рис. 2. Схема приложения нагрузок в процессе разрушения клевого шва при последовательном отрыве: 1 – образец, участвующий в отрыве; 2 – статичный образец

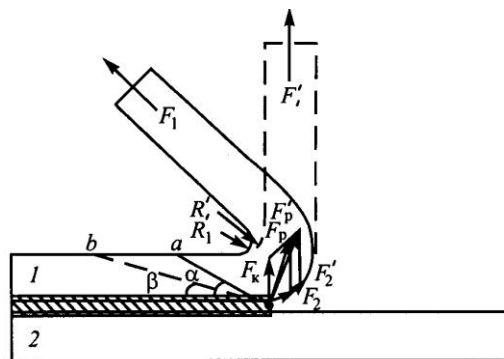
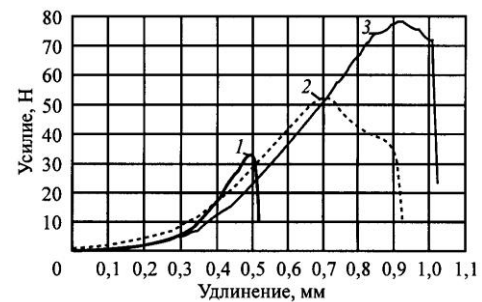


Рис. 3. Типичная экспериментальная кривая «усилие–удлинение» при проведении испытания на прочность клевого соединения гофрокартона, склеенного клеем на основе обработанных ЭПП осиновых опилок (1), поливинилацетатным клеем (2), крахмальным клеем (3)



На рис. 3 представлены графики зависимости «усилие – удлинение» для предлагаемого метода.

Данный метод был апробирован на различных видах клеев (поливинилацетатный, крахмальный, декстриновый) с использованием различных видов целлюлозно-бумажных материалов (ватман, картон-лайнер и бумага для гофрирования, целлофановая пленка) (рис. 4).

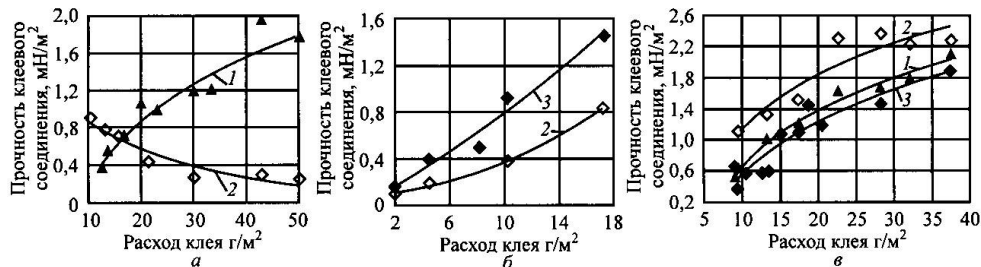


Рис. 4. Зависимость прочности клеевого соединения от расхода декстринового (а), крахмального (б) и поливинилацетатного (в) клеев: 1 – ватман; 2 – целлофановая пленка; 3 – картон-лайнер и гофробумага

Полученные нами результаты отличались большей воспроизводимостью по сравнению с гостированным методом [2]. Погрешность составляла не более 5 %.

Результаты сравнения крахмального клея с клеем, полученным при экстракции 6 %-м раствором NaOH обработанной ЭПП осиновой древесины, представлены на рис. 5.

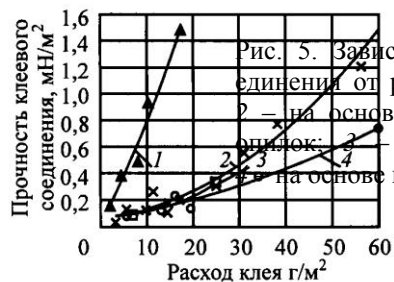


Рис. 5. Зависимость прочности клеевого соединения от расхода клея: 1 – крахмального; 2 – на основе обработанных ЭПП осиновых опилок; 3 – на основе березовых опилок; 4 – на основе щелочного экстракта макулатуры

Для достижения необходимой прочности расход крахмального клея составлял  $17 \text{ г/м}^2$ , а клея на основе обработанных ЭПП осиновых опилок –  $58 \text{ г/м}^2$  (концентрация клея – около  $700 \text{ г/л}$ ). При такой концентрации в щелочной среде невозможна биодеструкция, которая является одним из недостатков крахмального клея. При этом стоимость предлагаемого клея будет ниже.

На следующем этапе работы была рассмотрена возможность применения веществ, полученных из лиственной древесины плазмохимическим методом, в качестве добавки для ускорения процесса размола. Известно, что повышенное содержание гемицеллюлоз в древесной целлюлозе благоприятно влияет на процесс размола. Вещество на основе деструктурированной плазмохимическим методом древесины по многим свойствам сопоставимо с гемицеллюлозами.

Был проведен размол сульфатной хвойной небеленой целлюлозы на лабораторном ролле. В качестве добавок использованы вещества, полученные при экстракции 6 %-м раствором NaOH березовых и осиновых опилок, обработанных ЭПП. Содержание добавок варьировали от 0,1 до 5,0 % от

массы целлюлозы. Обнаружено, что введение добавки в количестве 1,0 % позволяет сократить продолжительность размола до заданной степени помола более чем в 3 раза (рис. 6).

Если сопоставить стоимость сэкономленной электроэнергии при размоле 1 т целлюлозы с затратами на производство добавки, полученной экстракцией 6 %-м раствором NaOH лиственной древесины, обработанной ЭПП, то экономия превысит затраты в 5 раз.

Вносимая перед отливом добавка осаждается на поверхности целлюлозных волокон и способствует образованию межволоконных связей, увеличивая площадь контакта между волокнами, что позволяет сформировать более прочное бумажное полотно.

Для оценки возможности использования добавки на основе плазмохимически обработанной древесины в качестве связующего для проклейки в массе проведены исследования на лабораторных образцах из сульфатной хвойной небеленой целлюлозы. При этом в массу добавляли вещество,

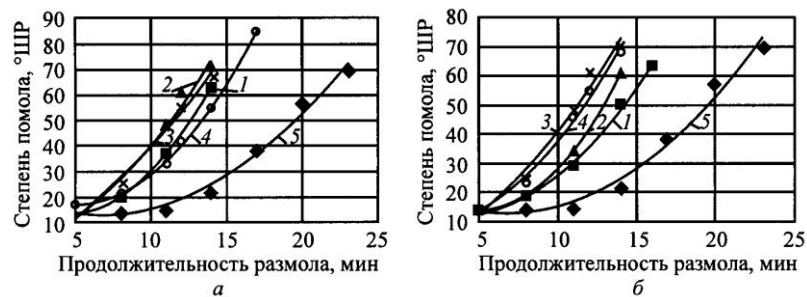


Рис. 6. Размол целлюлозы в лабораторном ролле при введении добавок из осиновой (а) и березовой (б) древесины в количестве 0,1 (1); 0,5 (2); 1,0 (3); 5,0 % (4) и без добавок (5)

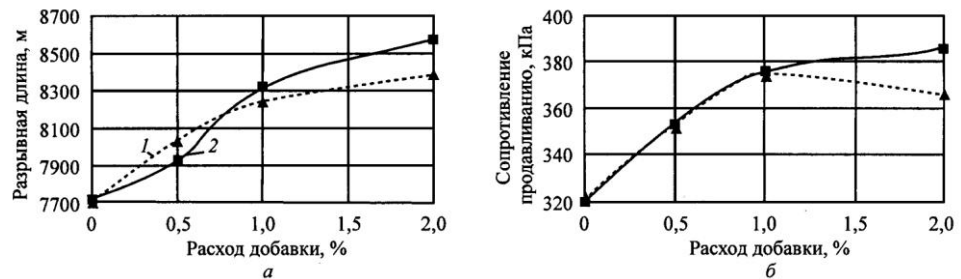


Рис. 7. Результаты испытаний разрывной длины (а) и сопротивления продавливанию (б) образцов с различным количеством внесенной добавки: 1 – перед отливом; 2 – до размола и перед отливом

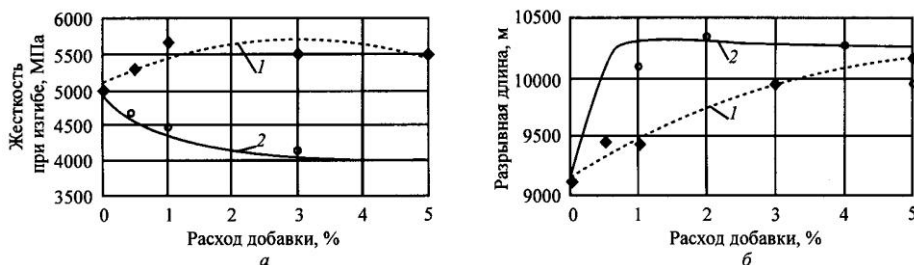


Рис. 8. Результаты сравнительных испытаний жесткости при изгибе (а) и разрывной длины (б) лабораторных отливок с различным количеством разработанной добавки (1) и катионного крахмала (2)

полученное экстракцией 6 %-м раствором NaOH осинової древесины, обработанной ЭПП, перед размолотом и перед отливом или только перед отливом.

Введение добавки перед размолотом в количестве 1 % и перед отливом в количестве 2 % увеличивает разрывную длину на 10 %, а сопротивление продавливанию на 20 %.

Использование данной добавки позволит повысить прочностные показатели получаемого целлюлозно-бумажного материала, а также снизить энергозатраты при размолоте. Предлагаемая добавка не только не уступает по своим свойствам катионному крахмалу, но и по некоторым показателям даже превосходит его (рис. 7, 8).

Для получения клеящих веществ из древесины плазмохимическим методом использовали древесные отходы. Опилки, древесную пыль, стружку высушивали и измельчали, так как обработка ЭПП эффективна при размерах частиц древесины, соответствующих характеристикам древесной муки. Далее с помощью ЭПП обрабатывали измельченный древесный материал.

По расчетам эксплуатационные расходы на получение клеящих веществ составляют 3 тыс. р. за 1 т, включая затраты на сырье, сушку, измельчение и обработку ЭПП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков, В.Л. Электронно-пучковая плазма. Генерация, свойства, применение [Текст] / В.Л. Бычков, М.Н. Васильев, А.С. Коротеев. – М.: МГОУ АО «Росвузнаука», 1993. – 168 с.
2. ГОСТ 28966.2 – 91. Клеи полимерные. Метод определения прочности при отслаивании [Текст]. – Введ. 1992. – 01. – 01. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
3. Соколов, О.М. Применение щелочерастворимых экстрактов плазмохимически модифицированной древесины для упрочнения бумаги [Текст] / О.М. Соколов [и др.] // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2001. № 9-10. – С. 28–31.
4. Челпанова, Е.А. Совершенствование метода определения адгезионных свойств клевого шва целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / Е.А. Челпанова [и др.] // Лесн. журн. – 2003. – № 2. – С. 100–106. – (Изв. высш. учеб. заведений).



Поступила 11.05.06.

Архангельский государственный  
технический университет

E.A. Shevnina, D.G. Chukhchin, V.I. Komarov, O.M. Sokolov

**Variants of Applying Wood Destroyed by Plasma-chemical Method in  
Pulp-and-paper Production**

It is suggested to use substances produced from wood with the help of electron-beam plasma as adhesive in gypsum board production.



УДК 676.2.017

**Н.В. Коряковская, В.К. Попов**

Коряковская Наталья Владимировна родилась в 1968 г., окончила в 1991 г. Ленинградский технологический институт, кандидат технических наук, заведующая кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета, академик Метрологической академии РФ. Имеет более 20 печатных трудов в области исследования оптических свойств бумажного полотна.



Попов Виктор Константинович родился в 1940 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета, чл.-кор. Метрологической академии РФ. Имеет более 20 печатных трудов в области метрологии и технологических измерений.



## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ФРАКТАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА**

Установлено, что фрактальную размерность можно использовать в качестве оценки неоднородности просвета бумаги.

*Ключевые слова:* теория фракталов, неоднородность бумажного полотна, фрактальная размерность.

Бумага, как физический объект, представляет собой набор макроскопических частиц, образующих сложную полидисперсную систему, между соседними волокнами которой существует жесткая связь, а сам объект имеет неоднородную и неупорядоченную структуру. Подобное строение бумаги обуславливает колебания ее физических свойств: механической прочности, поверхностной плотности, влажности, воздухопроницаемости и др.

Факторов, влияющих на структуру расположения волокон в бумаге, достаточно много. Перечислим лишь некоторые из них: композиция бумажной массы, степень размола, вибрация сеточного стола, концентрация массы, соотношение между скоростями массы и сетки, режим обезвоживания и др.

Просвет бумаги, или облачность, обычно определяют оптическим методом, который основан на измерении и анализе светового потока, прошедшего через лист бумаги. Применение системы технического зрения (СТЗ) для контроля оптических свойств бумажного полотна позволяет анализировать пространственную картину структурной неоднородности, что увеличивает как объем, так и скорость получения информации. ЭВМ, входящая в состав СТЗ, позволяет применять различные методы обработки и

анализа изображений, а также получать модели-эталонные исследуемых образцов [2].

В работе [1] авторы использовали лазерную установку для непрерывного контроля просвета и применили следующий критерий выбора ширины светового пучка: «Ширина просвечивающего пучка должна быть не более половины минимального размера неоднородности, которую мы хотим обнаружить. Ширину пучка не следует брать слишком малой, чтобы не интересующие нас мелкие неоднородности сгладились».

В работе [4] в качестве технических средств использовали телевизионную систему анализа изображений. Предложено оценивать зернистость структуры по удельному периметру флокул, который определяют как отношение общего периметра флокул на рассматриваемом участке образца к площади исследуемой поверхности. Уменьшение удельного периметра при возрастании площади вводимого изображения авторы объясняют следующим образом: «При отдалении объекта от камеры мелкие детали на изображении сглаживаются, что приводит к уменьшению удельного периметра флокул».

Это утверждение можно ассоциировать с измерениями периметра береговой линии, зарегистрированной фотокамерой на различных высотах. Наблюдаемая картина одна и та же, а периметр зависит от масштаба изображения.

В связи с вышесказанным очевидно, что для создания метрологического обеспечения оптических методов контроля неоднородности просвета бумаги необходимо определиться с выбором разрешающей способности применяемых оптических устройств, обеспечивающей достоверность и информативность результатов измерений.

Систематическое изучение объектов такой необычной группы было начато французским математиком Бенуа Мандельбротом. В 1975 г. он ввел термин «фрактал» – масштабно-инвариантное множество, обладающее дробной размерностью Хаусдорфа–Безиковича [3].

Цель данной работы – на основе экспериментальных данных, а также расчетов, проведенных на моделях-эталонах, обосновать фрактальные свойства бумаги.

Фрактальную размерность Хаусдорфа–Безиковича  $d_f$  определяют по следующей формуле [3]:

$$d_f = \ln N(r) / \ln(1/r), \quad (1)$$

где  $N(r)$  – число прямолинейных отрезков, аппроксимирующих данную кривую или число квадратов, аппроксимирующих площадь поверхности;

$r$  – длина прямолинейного отрезка или размер стороны квадрата.

В качестве модели-эталона структурной неоднородности можно использовать решеточную структуру типа «шахматная доска» [2]. Определим фрактальные размерности данной модели в зависимости от числа клеток на единичной площади.

Возьмем квадрат единичной площади (квадрат нулевой итерации) и, разделив его на равные квадраты со стороной  $r$ , получим  $N_1(r) = r^2$  квадратов, подобных исходному, но имеющих сторону в  $1/r$  раз меньше исходной (на рис. 1 приведен пример для  $r = 1/4$ ).

Сформируем образующую первой итерации самоподобного фрактала, выкидывая из исходного квадрата  $N_2(r)$  квадратов таким образом, чтобы получить структуру типа «шахматная доска» (рис. 2).

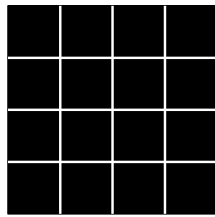


Рис. 1. Квадрат нулевой итерации,  $r = 1/4$

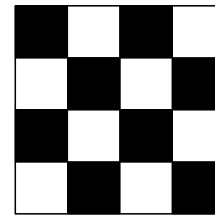


Рис. 2. Образующая самоподобного фрактала  $N(r) = 8$

Число копий исходного квадрата в образующей первой итерации

$$N(r) = N_1(r) - N_2(r).$$

Фрактальную размерность получаемого множества определим по формуле (1). Для случая, приведенного на рис. 1:

$$d_f = \ln 8 / \ln 4 = 1,500.$$

Аналогично получим фрактальные размерности для других значений  $r$ , которые приведены во второй строке табл. 1.

Из данных табл. 1 можно сделать вывод, что чем меньше размер клетки «шахматной доски», тем больше фрактальная размерность модели.

По результатам расчетов получена линейная зависимость, связывающая размер клетки  $r$  и фрактальную размерность объекта  $d_f$ . Аппроксимация данной зависимости дает следующую формулу:

$$d_f = -2r + 2. \quad (2)$$

Проведем анализ зависимости (2). При  $r \rightarrow 0$  и  $d_f \rightarrow 2$  «шахматная доска» преобразуется в сплошной квадрат, а фрактальная размерность становится равной топологической размерности квадрата, т. е. 2.

Для исследования закономерностей изменения результатов измерения просвета от площади вводимого изображения  $S$  был проведен эксперимент на писчей бумаге. В качестве средства измерения использовали СТЗ. На выходе измерительного канала были получены численные значения следующих показателей неоднородности: удельный периметр [4], средний линейный размер неоднородности [2], коэффициент формы [2]. Относительная погрешность измерений при доверительной вероятности 95 % не превышала 4 % для всех показателей.

Поясним физический смысл используемых оценок просвета:  
удельный периметр  $P_y$  косвенно характеризует размер флокул;  
средний линейный размер неоднородности  $L$  несет информацию о флокулах и порах, поэтому измерения обычно проводят как в продольном  $L_1$ , так и в поперечном  $L_2$  направлениях;

коэффициент формы  $a$  характеризует средний размер флокул.

Результаты измерений оптической неоднородности бумаги приведены в табл. 2. Здесь же представлены значения  $N(r)$ , определяющие среднее число флокул на изображении:

$$N(r) = S/(2a^2).$$

Таблица 1

Расчет по формуле	Фрактальная размерность $d_f$ при различных значениях $r$					
	1/8	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2
(1)	1,666	1,614	1,594	1,500	1,463	1,000
(2)	1,750	1,668	1,600	1,500	1,340	1,000

Таблица 2

Площадь вводимого изображения $S$ , мм <sup>2</sup>	Коэффициент формы $a$ , мм	Удельный периметр $P_y$ , мм <sup>-1</sup>	Средний размер неоднородности, мм		Среднее число флокул на изображении $N(r)$
			$L_1$	$L_2$	
8000	10,7	0,174	26,0	18,0	35,0
5376	8,6	0,202	21,5	16,0	36,3
3640	7,1	0,250	19,0	12,8	36,4
1976	5,4	0,330	12,7	10,6	34,0
300	2,1	0,860	5,2	3,6	34,0

На основании эксперимента можно сделать следующие выводы.

1. Результаты измерений имеют явно выраженную зависимость от площади вводимого изображения, а именно: чем меньше площадь, тем меньше средний размер неоднородностей.

2. Подтверждены данные работы [4] о характере изменения удельного периметра.

3. При изменении разрешающей способности ТВ-камеры сохраняется информация об анизотропии флокул в продольном направлении ( $L_1 > L_2$ ).

4. Значения среднего числа флокул на изображении свидетельствуют о том, что в данном диапазоне масштабов ТВ-камера «видит» одну и ту же картину, т. е. имеет место масштабная инвариантность. По среднему значению  $N(r) = 35$ , а также на основании того, что флокулы занимают половину общей площади листа, пользуясь выражением (1), можно оценить фрактальную размерность исследуемого образца:

$$d_f = \ln 35 / \ln 70 = 1,673.$$

5. Фрактальная размерность в отличие от других показателей просвета остается постоянной независимо от разрешающей способности оптических систем.

6. Очевидно, что чем однороднее структура бумаги, тем ближе значение  $d_f$  к 2.

В связи с вышесказанным фрактальную размерность можно использовать в качестве оценки неоднородности просвета бумаги. Кроме того, при разработке технического и метрологического обеспечения СТЗ можно обосновать выбор оптимального числа ТВ-камер по ширине полотна для получения достоверной информации о неоднородности структуры различных видов бумаг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойков, С.П. Бумага. Неоднородность просвета. Номенклатура показателей: отраслевой стандарт [Текст] / С. П. Бойков [и др.]. – Л.: ЛТА, 1987. – С. 43.
2. Коряковская, Н.В. Разработка моделей-эталонных структурной неоднородности бумажного полотна [Текст] / Н.В. Коряковская // Лесн. журн.– 1999. – № 2-3. – С.175 – 179. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Методы классической и современной теории автоматического управления Т. 3: Методы современной теории автоматического управления [Текст] / Под ред. Н.Д. Егунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2000. – 748 с.
4. Jordan, B.D. Specific perimeter – a graininess parameter for formation and printmottl textures [Text] / B.D. Jordan, N.G. Nquen // Papperija Puu-Papper och Tra. – 1986. – N 6-7. – P. 239–254.

8

Поступила 28.06.06

Архангельский государственный  
технический университет

*N.V. Koryakovskaya, V.K. Popov*

#### **Use of Fractal Theory for Assessment of Structural Irregularity of Paper Web**

It is established that fractal dimension could be used as assessment of irregularity in paper formation.



УДК 676.1.038.2

**М.А. Агеев, А.И. Короткий**

Короткий Александр Илларионович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Уральский государственный университет, доктор физико-математических наук, профессор, руководитель отдела прикладных задач Института математики и механики Уральского отделения РАН. Имеет 125 печатных работ в области математической физики, теории управления, дифференциальных игр, динамики вязкой жидкости.



### **ДВИЖЕНИЕ ПУЗЫРЬКА ВОЗДУХА В ВОЛОКНИСТОЙ СУСПЕНЗИИ ПРИ ФЛОТАЦИИ**

В сферической системе координат решена задача обтекания шара при оссиметричном его движении, обратимая по отношению к движению пузырька. Получены уравнения движения пузырька воздуха в волокнистой суспензии, а также уравнение распределения давления, создаваемого в волокнистой суспензии при движении пузырька.

*Ключевые слова:* сферическая система координат, пузырек воздуха, волокнистая суспензия.

Ранее [1] было получено реологическое уравнение волокнистой суспензии, учитывающее ее тиксотропные свойства и энергию активации вязкого течения  $\tau = Ae^{-ae^{-bt}} + \mu\dot{\gamma}$ .

Здесь  $\tau$  – касательное напряжение;

$A$  – прочность сети волокон в момент приложения сдвигающих нагрузок;

$a$  – постоянная, пропорциональная разности энергий активации течения с неразрушенной и предельно разрушенной структурой;

$b$  – скорость тиксотропного восстановления структуры волокнистой суспензии;

$\mu$  – динамический коэффициент вязкости;

$\dot{\gamma}$  – градиент скорости.

Подобные реологические свойства среды, существенно влияющие на движение пузырька воздуха, в волокнистой суспензии при флотации, в научной литературе не рассматривались. Поэтому представляют большой научный и практический интерес.

Рассмотрим особенности движения воздушного пузырька при флотации. Для этого используем сферическую систему координат. Она удобна при изучении процессов, связанных с движением сферических частиц (пузырьки, твердые шарики, жидкие капли) в поле скоростей.

Для аналитического описания движения пузырька воздуха в волокнистой суспензии применим уравнение динамики жидкости в векторной форме [2]:

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho \vec{F} - \text{grad} p + \text{div}(\tau_{i,j}), \quad (1)$$

где  $\tau = (\tau_{i,j})$  – тензор вязких напряжений, компоненты которого  $\tau_{i,j}$  для волокнистой суспензии связаны с компонентами  $\dot{\gamma}_{i,j}$  тензора  $\dot{\gamma} = (\dot{\gamma}_{i,j})$  скоростей деформаций следующими соотношениями:

$$\tau_{i,j} = f(\dot{\gamma}_{i,j}) + \mu \dot{\gamma}_{i,j}; \quad f(\dot{\gamma}_{i,j}) = A e^{-a e^{-b \dot{\gamma}_{i,j}}}. \quad (2)$$

Преобразуем уравнение (1) к сферическим координатам  $r, \varphi, \Theta$  (где  $r$  – расстояние от геометрической точки до начала координат;  $\varphi$  – широта точки;  $\Theta$  – долгота точки). Таким образом,

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\omega}{r} \frac{\partial u}{\partial \Theta} - \frac{\omega^2}{r} \right) = \rho F_r - \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\Theta}}{\partial \Theta} + \frac{2\tau_{rr} - \tau_{\varphi\varphi} - \tau_{\Theta\Theta} + \tau_{r\Theta} \text{ctg} \Theta}{r}; \quad (3)$$

$$\rho F_\varphi + \frac{3\tau_{\varphi r} + 2\tau_{\varphi\Theta} \text{ctg} \Theta}{r} = 0; \quad (4)$$

$$\rho \left( u \frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{\omega}{r} \frac{\partial \omega}{\partial \Theta} + \frac{u\omega}{r} \right) = \rho F_\Theta - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \Theta} + \frac{\partial \tau_{\Theta r}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\Theta\Theta}}{\partial \Theta} + \frac{3\tau_{\Theta r} + (\tau_{\Theta\Theta} - \tau_{\varphi\varphi}) \text{ctg} \Theta}{r}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial(ur^2 \sin \Theta)}{\partial r} + \frac{\partial(\omega r \sin \Theta)}{\partial \Theta} = 0. \quad (6)$$

При этом было учтено, что в процессе обтекания жидкостью твердого шара с учетом его симметрии можно считать, что ее поток будет осесимметричным относительно оси  $OZ$ , т. е.  $u = u(t, r, \Theta)$ ;  $v = 0$ ;  $\omega = \omega(t, r, \Theta)$ ;  $p = p(t, r, \Theta)$ . Для установившегося процесса обтекания твердого шара  $u = u(r, \Theta)$ ;  $v = 0$ ;  $\omega = \omega(r, \Theta)$ ;  $p = p(r, \Theta)$ .

Уравнение (4) с физической точки зрения означает баланс соответствующих касательных напряжений и в дальнейшем из рассмотрения исключено.

Рассмотрим уравнения движения (3), (5) и условие несжимаемости (6).

Для упрощения введем функцию тока  $\psi = \psi(r, \Theta)$ :

$$u = \frac{1}{r^2 \sin \Theta} \frac{\partial \psi}{\partial \Theta}; \quad \omega = -\frac{1}{r \sin \Theta} \frac{\partial \psi}{\partial r}. \quad (7)$$

При этом условие несжимаемости (6) выполняется автоматически. Подставив выражения для  $u$  и  $\omega$  из (7) в (3) и (5), получим два уравнения с двумя искомыми функциями  $\psi$  и  $p$ . Из этих двух уравнений давление  $p$  можно исключить следующим образом: уравнение (3) дифференцируем по



$\Theta$  и из полученного вычитаем производную уравнения (5) по  $r$ , предварительно умноженного на  $r$ . В результате имеем уравнение относительно  $\psi$  более высокого порядка, чем (3) или (5). На этом пути исходная задача сводится к решению одного уравнения относительно одной функции  $\psi = \psi(r, \Theta)$  двух переменных  $r$  и  $\Theta$ .

Рассмотрим задачу об обтекании шара радиуса  $\delta$  в следующем приближении:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = 0 \quad (\text{ускорение мало или его нет}); \quad (8)$$

$$\vec{F} = 0 \quad (\text{внешние массовые силы очень малы}). \quad (9)$$

Тогда уравнения движения (3), (5), (6) примут вид

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\partial \tau_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\Theta}}{\partial \Theta} + \frac{1}{r} [2\tau_{rr} - \tau_{\varphi\varphi} - \tau_{\Theta\Theta} + \tau_{r\Theta} \text{ctg}\Theta]; \quad (10)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \Theta} = \frac{\partial \tau_{\Theta r}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\Theta\Theta}}{\partial \Theta} + \frac{1}{r} [3\tau_{\Theta r} + (\tau_{\Theta\Theta} - \tau_{\varphi\varphi}) \text{ctg}\Theta]; \quad (11)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{2}{r} u + \frac{1}{r} \frac{\partial \omega}{\partial \Theta} + \frac{\text{ctg}\Theta}{r} \omega = 0. \quad (12)$$

Так как тензор напряжений представляет собой экспоненциальную функцию (2), воспользуемся разложением этой функции в ряд. Ввиду малости показателей степени ограничимся двумя первыми членами ряда:

$$\begin{aligned} e^{-ae^{-b\dot{\gamma}}} &\approx e^{-a(1-b\dot{\gamma})} \approx 1 - a(1-b\dot{\gamma}) \approx 1 - a + b\dot{\gamma}; \\ \tau_{i,j} &= f(\dot{\gamma}_{i,j}) + \mu \dot{\gamma}_{i,j} \approx A(1 - a + b\dot{\gamma}) + \mu \dot{\gamma} = \\ &= A(1 - a) + Ab\dot{\gamma}_{i,j} + \mu \dot{\gamma}_{i,j} = \tau_0 + (\mu - \mu_1) \dot{\gamma}_{i,j}, \end{aligned} \quad (13)$$

где  $\tau_0 = A(1 - a)$ ;

$$Ab = \mu_1.$$

Тогда

$$\tau_{i,j} = \tau_0 + (\mu - \mu_1) \dot{\gamma}_{i,j} = \tau_0 + v \dot{\gamma}_{i,j}. \quad (14)$$

Здесь  $v$  – вязкость суспензии.

Примем допущение

$$\tau_{r\Theta} = v \dot{\gamma}_{r\Theta}, \quad (15)$$

приемлемое для волокнистых суспензий низких концентраций, в которых структурные изменения, обусловленные тиксотропным восстановлением и энергией активации вязкого течения, минимальны. В дальнейших преобразованиях это приведет к исчезновению слагаемых с множителем  $\tau_0$  при подстановке (14) в (10) и (11).

Предположив (8), (9), (13), (15), получаем следующую систему из трех уравнений для нахождения трех функций  $u$ ,  $\omega$ ,  $p$ :

$$\frac{\partial p}{\partial r} = v \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \Theta^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\operatorname{ctg} \Theta}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \Theta} - \frac{2}{r^2} u - \frac{2}{r^2} \frac{\partial \omega}{\partial \Theta} - \frac{2 \operatorname{ctg} \Theta}{r^2} \omega \right); \quad (16)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \Theta} = v \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial \Theta^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{\operatorname{ctg} \Theta}{r^2} \frac{\partial \omega}{\partial \Theta} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \Theta} - \frac{1}{r^2 \sin^2 \Theta} \omega \right); \quad (17)$$

и уравнение (12).

Для искомых функций рассмотрим следующие граничные условия:

1) на поверхности пузырька выполняется условие прилипания, т.е. скорость жидкости на его поверхности равна нулю:

$$u|_{r=\delta} = 0; \quad \omega|_{r=\delta} = 0; \quad (18)$$

2) в бесконечности скорость жидкости совпадает со скоростью однородного тока жидкости, направленного вдоль оси  $OZ$  и имеющего скорость  $U$ :

$$u|_{r=\infty} = U \cos \Theta; \quad \omega|_{r=\infty} = -U \sin \Theta. \quad (19)$$

Решим краевую задачу (16), (17), (12), (18), (19), исходя из вида граничных условий:

$$u = R(r) \cos \Theta; \quad \omega = -\Theta(r) \sin \Theta; \quad p = vP(r) \cos \Theta, \quad (20)$$

где  $R$ ,  $\Theta$ ,  $P$  – новые искомые функции, зависящие от  $r$ .

Из (18) и (19) вытекает, что функции  $R$  и  $\Theta$  должны удовлетворять следующим граничным условиям:

$$R|_{r=\delta} = 0; \quad \Theta|_{r=\delta} = 0; \quad (21)$$

$$R|_{r=\infty} = U; \quad \Theta|_{r=\infty} = U. \quad (22)$$

Подставив (20) в (16), (17) и (12), получим

$$P' = R'' + \frac{2}{r} R' - \frac{4}{r^2} (R - \Theta); \quad (23)$$

$$\frac{1}{r} P = \Theta'' + \frac{2}{r} \Theta' + \frac{2}{r^2} (R - \Theta); \quad (24)$$

$$\Theta = \frac{r}{2} R' + R. \quad (25)$$

Подставим (25) в (24):

$$P = \frac{r^2}{2} R''' + 3rR'' + 2R', \quad (26)$$

а (25) и (26) в (23):

$$r^3 R'''' + 8r^2 R''' + 8rR'' - 8R' = 0. \quad (27)$$

Решение уравнения (27) найдем в виде  $R = r^m$ . Подставив это выражение в (27), получим для  $m$  уравнение  $m(m+1)(m+3)(m-2) = 0$ , которое имеет четыре корня:  $m_1 = -3$ ;  $m_2 = -1$ ;  $m_3 = 2$ ;  $m_4 = 0$ .

Общее решение уравнения (27) примет следующий вид:

$$R = C_1 r^{-3} + C_2 r^{-1} + C_3 r^2 + C_4, \quad (28)$$

где  $C_1, C_2, C_3, C_4$  – произвольные постоянные.

Подставив (28) в (25) и (26), получим

$$\Theta = -\frac{C_1}{2} r^{-3} + \frac{C_2}{2} r^{-1} + 2C_3 r^2 + C_4;$$

$$P = C_2 r^{-2} + 10 C_3 r.$$

Из граничных условий (21) и (22) имеем

$$C_1 = \frac{1}{2} \delta^3 U; \quad C_2 = -\frac{3}{2} \delta U; \quad C_3 = 0; \quad C_4 = U.$$

Значит,

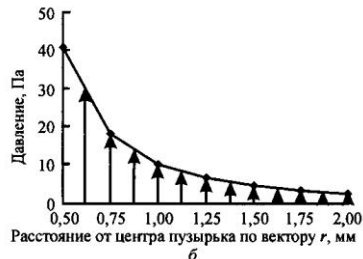
$$R = U \left( \frac{\delta^3}{2r^3} - \frac{3\delta}{2r} + 1 \right); \quad \Theta = U \left( -\frac{\delta^3}{4r^3} - \frac{3\delta}{4r} + 1 \right); \quad P = -\frac{3\delta}{2r^2} U.$$

Отсюда

$$u = U \left( 1 - \frac{3\delta}{2r} + \frac{\delta^3}{2r^3} \right) \cos \Theta; \quad r \geq \delta; \quad (29)$$

$$\omega = -U \left( 1 - \frac{3\delta}{4r} - \frac{\delta^3}{4r^3} \right) \sin \Theta; \quad r \geq \delta; \quad (30)$$

$$v = 0; \quad (31)$$



Эпюра распределения скоростей (а) и давления (б) при всплывании пузырька воздуха

$$p = -U \frac{3\delta v}{2r^2} \cos \Theta; \quad r \geq \delta; \quad (32)$$

$Q = 6\pi\nu\delta U$  – равнодействующая давления.

Для обратимой задачи движения пузырька в волокнистой суспензии нужно вычесть в уравнениях распределения скоростей и давления (29)–(32) скорость волокнистой суспензии на бесконечности:

$$u = U \left( \frac{3\delta}{2r} - \frac{\delta^3}{2r^3} \right) \cos \Theta; \quad \omega = -U \left( \frac{3\delta}{4r} + \frac{\delta^3}{4r^3} \right) \sin \Theta; \quad p = U \frac{3\delta v}{2r^2} \cos \Theta.$$

Таким образом, получены решения распределения скоростей и давлений при движении пузырьков воздуха в диспергированном потоке волокнистой суспензии.

На основании полученных нами экспериментальных результатов по определению размеров пузырьков воздуха ( $\delta = 500$  мкм), скорости всплывания пузырька воздуха ( $U = 0,15$  м/с при вязкости  $\nu = 90$  мПа·с и концентрации волокнистой суспензии 0,5 % построены эпюры скорости и давления (см. рисунок) при  $\Theta = 0^\circ$  и  $r \geq \delta$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агеев, А.Я.* О второй составляющей реологического уравнения О.А. Терентьева для волокнистой суспензии [Текст] / А.Я. Агеев // Лесн. журн. – 1975. – № 1-2. – С. 170–177. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Терентьев, О.А.* Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве [Текст] / О.А. Терентьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 248 с.

Поступила 03.03.06

Уральский государственный  
технический университет

*М.А. Ageev, A.I. Korotky*

#### **Motion of Air Bubble in Fiber Suspension under Flotation**

The task of flow past sphere under its axisymmetric motion reversible in relation to bubble motion is solved in the spherical coordinate system. The equations of air bubble motion in the fiber suspension are produced, as well as the equation of pressure distribution generated in the fiber suspension under the bubble motion.





## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 533.601

**Ю.Л. Леухин, Э.Н. Сабуров, И.А. Усачев, В. Гарен**

Леухин Юрий Леонидович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники Архангельского государственного технического университета. Имеет более 90 печатных работ в области аэродинамики и конвективного теплообмена в циклонных устройствах различного технологического назначения.



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 300 публикаций в области аэродинамики и конвективного теплообмена в сильно закрученных потоках, их использования для интенсификации процессов тепломассообмена в аппаратах различного технологического назначения.



Усачев Илья Александрович родился в 1980 г., окончил в 2003 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры теплотехники АГТУ. Имеет 9 печатных работ в области исследования аэродинамики циклонных устройств.



Вальтер Гарен родился в 1940 г., профессор Института прикладной лазерной техники Университета прикладных наук (г. Эмден) в области оптики, лазерной техники, испытания материалов. Имеет более 30 научных работ по физике потоков (газодинамика, ударные волны в газовой и жидкой средах), оптическим методам измерения потоков, лазерной анемометрии LDA, методам PIV, лазерной дифференциальной интерферометрии LDA, численным методам моделирования.

**ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА НА АЭРОДИНАМИКУ ЦИКЛОННОЙ ЗАГРУЖЕННОЙ КАМЕРЫ**

Проанализированы результаты экспериментального исследования циклонного потока, обтекающего цилиндр, смещенный с аэродинамической оси.

*Ключевые слова:* циклонная камера, циклонный поток, осредненные и турбулентные характеристики, число Рейнольдса.

Экспериментально установлено, что закономерности обтекания круглого цилиндра циклонным (сильно закрученным) потоком зависят не

только от его диаметра, длины, смещения с аэродинамической оси потока, геометрических характеристик генератора закрутки – циклонного устройства, но также и от величины числа Рейнольдса [2, 5]. Изучение этой зависимости представляет теоретический и практический интерес с точки зрения дальнейшего исследования аэродинамики и конвективного теплообмена в циклонных нагревательных и теплообменных устройствах.

Измерения распределений осредненных и пульсационных тангенциальной и осевой составляющих вектора скорости, а также сопротивления циклонной камеры при различных расходах газа (числах Рейнольдса) выполнены на экспериментальном стенде [5], созданном авторами в лаборатории прикладной лазерной техники Университета прикладных наук г. Эмден (Германия). Стенд включал вертикально расположенную циклонную камеру и измерительный комплекс лазерной установки LDA. Циклонная камера, изготовленная из оргстекла, имела внутренний диаметр  $D_k = 2R_k = 179$  мм и длину  $L_k = 272$  мм. Воздух в камеру подвели тангенциально внутренней поверхности с двух диаметрально противоположных сторон через каналы высотой 13 мм и длиной (размер по образующей) 40 мм. Входные каналы расположены в верхней части камеры, их ось – на расстоянии 60 мм от выходного торца. Безразмерная суммарная площадь входа потока  $\bar{f}_{вх} = 4f_{вх}/\pi D_k^2 = 4,13 \cdot 10^{-2}$ . Воздух из циклонной камеры отводили через осесимметричное отверстие в верхнем торце. Относительный диаметр выходного отверстия  $\bar{d}_{вых} = d_{вых}/D_k = 0,4$ .

Обтекаемый закрученным потоком цилиндр имел длину 231,5 мм и диаметр  $d = 61,5$  мм, что соответствовало параметру  $\bar{d} = d/D_k = 0,344$ . Торцы цилиндра отстояли от торцов камеры на расстоянии 23 мм, что исключало непосредственное воздействие на их боковую поверхность радиальных приторцевых перетечек. Относительное смещение цилиндра с оси циклонной камеры  $\bar{e} = e/R_k = 0,190$  (17 мм). Скорость потока измеряли в среднем поперечном сечении циклонной камеры при  $\bar{z} = 0,670$  ( $\bar{z} = z/D_k$  – безразмерная координата, совпадающая с осью камеры и отсчитываемая от ее глухого торца) через  $90^\circ$  по методике, подробно изложенной в работе [5]. При проведении опытов варьировали входное число Рейнольдса  $Re_{вх} = V_{вх} D_k / \nu_{вх}$  ( $V_{вх}$  и  $\nu_{вх}$  – средняя скорость и кинематический коэффициент вязкости потока во входных каналах циклонного устройства) в диапазоне  $(2,22 \dots 23,53) \cdot 10^4$ .

Избыточное давление  $p$  на поверхности цилиндра измеряли через  $10^\circ$  по периметру в 8-ми равномерно расположенных по его длине поперечных сечениях через отверстия диаметром 0,5 мм [4]. Исследования выполнены при  $Re_{вх} = (25,31 \dots 61,58) \cdot 10^4$ .

На рис. 1 приведены распределения безразмерных тангенциальной  $w_\phi = w_\phi / V_{вх}$  и осевой  $w_z = w_z / V_{вх}$  составляющих вектора полной скорости по радиусу циклонной камеры при различных значениях  $Re_{вх}$ ,

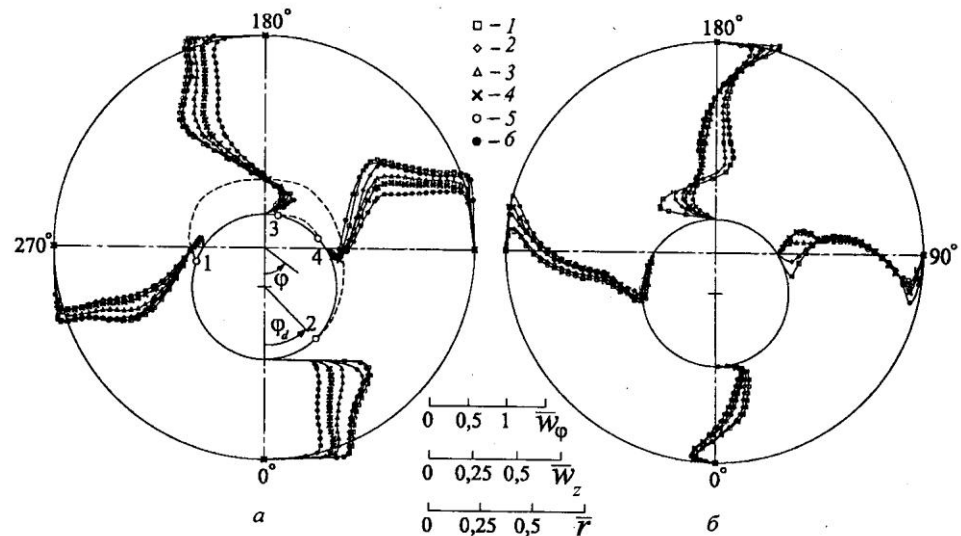
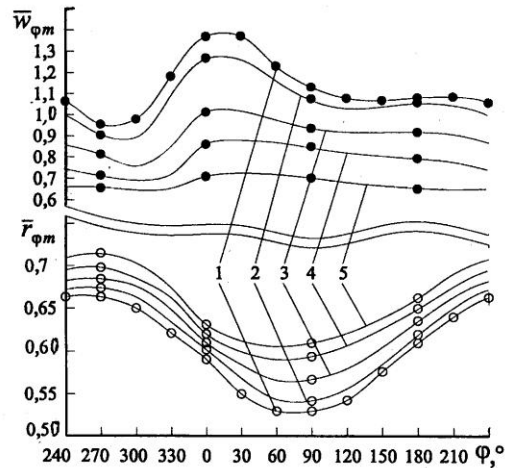


Рис. 1. Распределения  $\bar{w}_\varphi$  (а) и  $\bar{w}_z$  (б) по радиусу циклонной камеры при различных значениях  $Re_{vx}$ : 1 –  $Re_{vx} \cdot 10^{-4} = 23,53$ ; 2 – 13,70; 3 – 6,46; 4 – 3,45; 5 – 2,22; 6 – 62,12 (точки 1 – 4 на поверхности цилиндра соответствуют картине обтекания смещенного цилиндра при  $Re_{vx} = 23,53 \cdot 10^{-4}$ ;  $\varphi_d$  – угол, отсчитываемый в поперечном сечении камеры от линии смещения цилиндра, с вершиной на его оси)

полученные LDA, а также цилиндрическим трехканальным зондом по обычной методике [6] при  $Re_{vx} = 62,12 \cdot 10^4$ .

Течение закрученного потока, обтекающего смещенный с его аэродинамической оси цилиндр, в поперечном сечении камеры происходит как бы в замкнутом криволинейном канале типа конфузор – диффузор – конфузор и т.д., который образуют цилиндр и боковая поверхность рабочего объема циклонной камеры [9]. При перемещении потока в конфузорной части поперечного сечения и приближении его к наиболее стесненному проходному сечению  $\varphi = 0^\circ$  ( $\varphi$  – угол с вершиной на оси камеры, отсчитываемый в направлении движения потока от радиуса, по которому смещается цилиндр) происходит увеличение тангенциальной скорости и перестройка ее профиля. В диффузорной его части ( $\varphi > 0^\circ$ ) положительный градиент давления препятствует продвижению потока у поверхности цилиндра и приводит к его отрыву. С противоположной стороны цилиндра наблюдается вихрь с интенсивным стоком газа в направлении выходного отверстия циклонной камеры. Граница разделения прямого и обратного течений в вихре (изотаха нулевого значения тангенциальной скорости) на рис. 1, а показана штриховой линией, которая замыкается между критическими точками – передней (лобовой) 1 и задней (кормовой) 2. Попятный вихревой поток срывается с поверхности цилиндра в точке 3 и затем присоединяется к ней в точке 4. Область течения между точками 3 и 4, в которой генерируется

Рис. 2. Изменение  $\bar{w}_{\varphi m}$  (черные точки) и  $\bar{r}_{\varphi m}$  (светлые точки) по периметру поперечного сечения циклонной камеры при различных значениях  $Re_{вх}$  (номера линий соответствуют обозначениям чисел  $Re_{вх}$ , принятым на рис. 1)



турбулентность потока высокой интенсивности, – «отрывной пузырь» [1]. У поверхности цилиндра от точки 4 поток перемещается в направлении точки 2.

Смещение цилиндра с аэродинамической оси циклонного потока приводит к значительному усложнению картины вторичных (осевых) течений во всем рабочем объеме циклонной камеры.

При обтекании цилиндра, смещенного с оси рабочего объема, как и при соосном его расположении [2], с понижением числа Рейнольдса меньше  $Re_{вх}^{авт}$  ( $Re_{вх}^{авт}$  определяет границу автомодельности течения [7]) происходит постепенная перестройка профилей тангенциальной и осевой составляющих скорости потока. Интенсивность вращательного движения в циклонном потоке и в вихре снижается. Циклонный поток принимает более осесимметричную и равномерную по периметру рабочего объема камеры форму. Уменьшаются значения максимума вращательной скорости  $\bar{w}_{\varphi m} = w_{\varphi m}/V_{вх}$  и интенсивность его изменения от угла  $\varphi$  (рис. 2). Так, если при  $Re_{вх} = 23,53 \cdot 10^4$  максимальное значение  $\bar{w}_{\varphi m}$  (при  $\varphi \approx 15^\circ$ ) на 44 % превышает минимальное (при  $\varphi \approx 270^\circ$ ) в этом же поперечном сечении, то при  $Re_{вх} = 2,22 \cdot 10^4$  превышение составляет только 11 %. Радиус  $\bar{r}_{\varphi m} = r_{\varphi m}/R_k$ , характеризующий положение  $w_{\varphi m}$ , увеличивается, т.е. максимальное значение  $w_{\varphi m}$  смещается к боковой поверхности рабочего объема циклонной камеры, а изменение его по периметру уменьшается.

Распределение осевой скорости по периметру при уменьшении  $Re_{вх}$  приобретает также значительно более равномерный характер. Наиболее существенно профиль  $\bar{w}_z$  перестраивается в широкой – диффузорной части поперечного сечения, где обратное течение оттесняется от цилиндра. В конфузорной части, наоборот, происходит некоторое расширение периферийного обратного тока. При  $Re_{вх} = 2,22 \cdot 10^4$  изотакта нулевого значения осевой



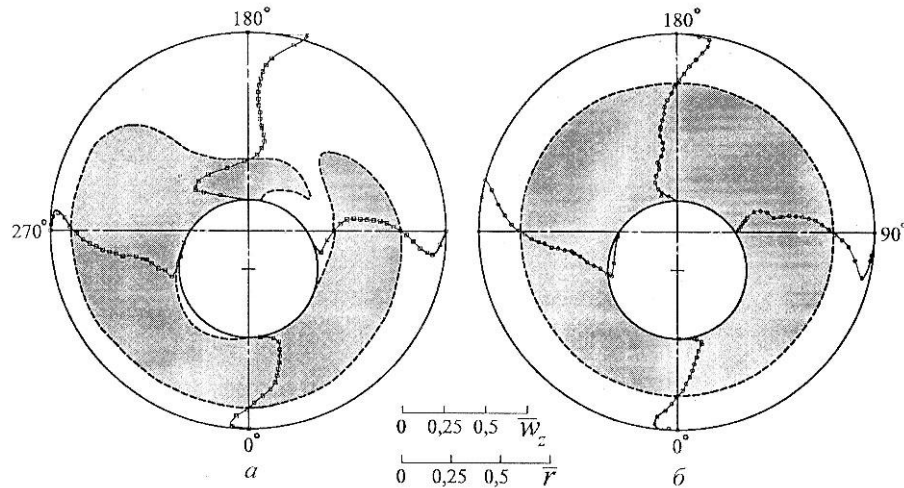


Рис. 3. Изменение  $\bar{w}_z$  по периметру поперечного сечения циклонной камеры при различных значениях  $Re_{вх}$ :  $a - Re_{вх} = 23,53 \cdot 10^4$ ;  $b - 2,22 \cdot 10^4$  (серым цветом выделена область положительного направления движения осевой скорости – в сторону выходного отверстия циклонной камеры)

скорости, изображенная на рис. 3 штриховой линией, становится практически осесимметричной с рабочим объемом окружности.

Изотахи осевой скорости, полученные в результате численного моделирования течения с использованием программного комплекса CFX, представлены на рис. 4. Сопоставление результатов численного моделирования (сплошные линии) и эксперимента (точки) для тангенциальной и осевой составляющих скорости, выполненные для сечений замеров с  $\varphi = 0$  и  $180^\circ$ , показывает их хорошее совпадение. С уменьшением  $Re_{вх}$  снижается интенсивность вторичных вихрей, возникающих в диффузорной части поперечного сечения. При  $Re_{вх} = 2,22 \cdot 10^4$  изотаха нулевой осевой скорости в продольном сечении в области циклонного потока, ниже входных шлиц, приобретает практически осесимметричную цилиндрическую форму (рис. 4). Такой же вид имеет изотаха нулевой осевой скорости при обтекании потоком осесимметрично расположенного цилиндра. На границе раздела периферийного обратного и прямого выходного вихрей образуются вторичные вихревые образования, центры которых находятся на нулевых изотахах осевой скорости.

Распределения безразмерного избыточного давления  $\bar{p} = 2p / \rho V_{вх}^2$  ( $\rho$  – плотность потока) по периметру цилиндра в его средней части представлены на рис. 5. Максимального значения  $p$  достигает в лобовой точке 1 при  $\varphi_d \approx 250^\circ$ , минимального – в области зажатого сечения (при  $\varphi_d \approx 0^\circ$ ). В

конфузорной части поперечного сечения от боковой точки 1, по мере продвижения потока и увеличения его скорости, давление снижается,

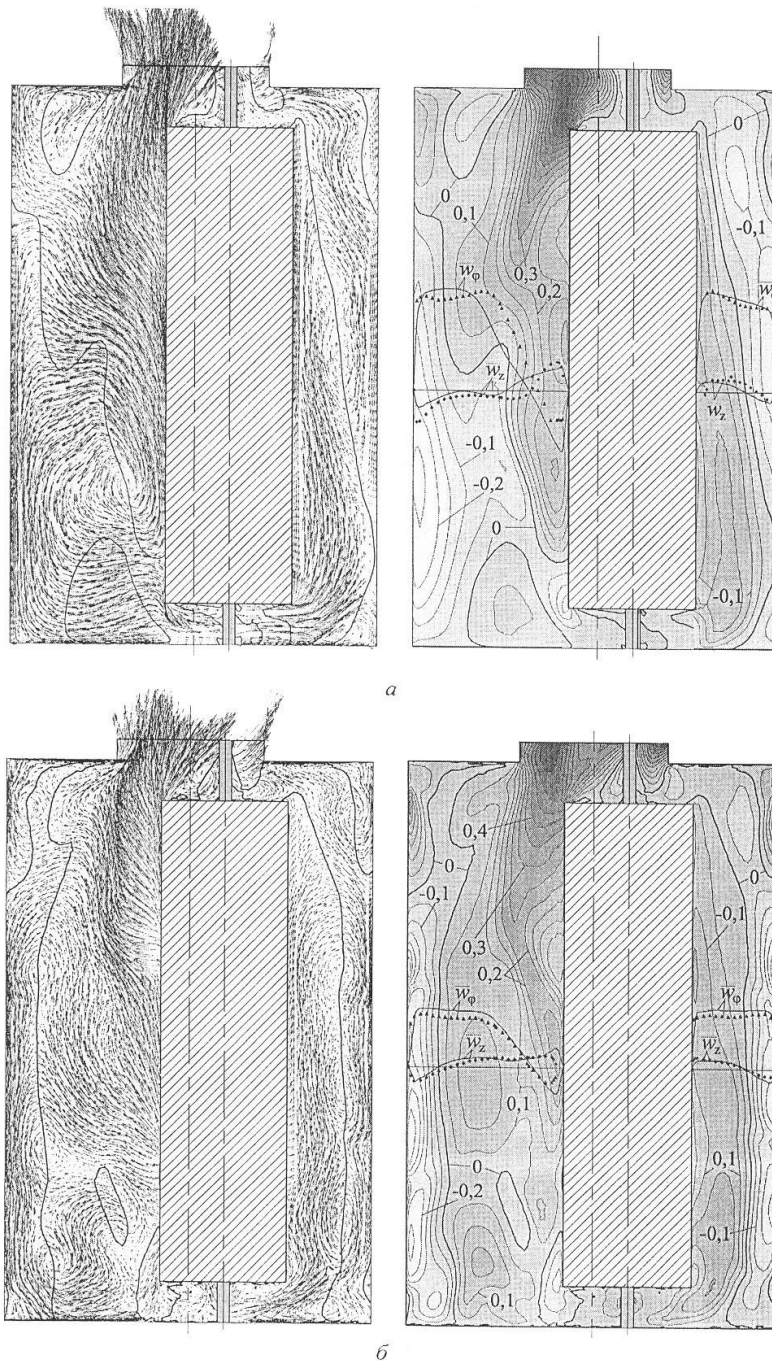
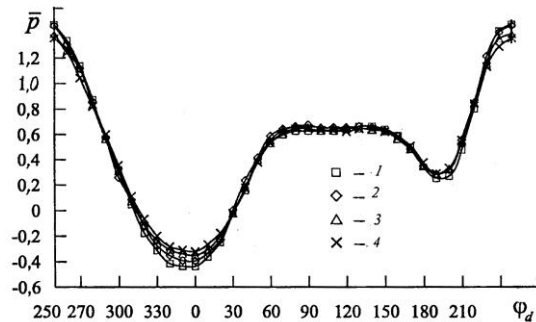


Рис. 4. Распределения векторов полной скорости (а, б) и изотях осевой скорости (б, з) в диаметральном сечении циклонной камеры

при различных значениях  $Re_{вх}$ :  $a, б$  –  $Re_{вх} = 23,53 \cdot 10^4$ ;  
 $в, з$  –  $2,22 \cdot 10^4$

Рис. 5. Распределения  $\bar{p}$  по периметру цилиндра при различных значениях  $Re_{вх}$ : 1 –  $Re_{вх} \times 10^4 = 61,58$ ; 2 – 47,60; 3 – 34,84; 4 – 25,31



в диффузорной – сначала растет, а за точкой отрыва 2 постепенно выравнивается. Аналогичное изменение  $\bar{p}$  происходит в вихре от точки 1 до его отрыва в точке 3 при  $\varphi_d \approx 170^\circ$ . В кормовой области течения  $\bar{p}$  практически не изменяется. С уменьшением  $Re_{вх}$ , в диапазоне его изменения от  $25,31 \cdot 10^4$  до  $61,58 \cdot 10^4$ , наблюдается снижение  $\bar{p}$  в лобовой точке на поверхности цилиндра и его увеличение в области зажатого сечения. Как показывают расчеты, выполненные с использованием CFX, при снижении  $Re_{вх}$  до  $2,22 \cdot 10^4$  происходит дальнейшее выравнивание давления на поверхности цилиндра, ликвидируется отрицательное избыточное давление в зажатом сечении. Лобовая точка 1 при этом несколько смещается по направлению движения потока в область больших значений угла  $\varphi_d$ , что, вероятно, можно объяснить перестроением профиля тангенциальной скорости – уменьшением  $w_{\varphi m}$  и его смещением к стенке камеры (увеличением  $r_{\varphi m}$ ).

Сложная аэродинамическая структура циклонного потока, обтекающего смещенный цилиндр, предопределяет характер изменения турбулентности и высокий ее уровень. На рис. 6 приведены распределения по радиусу интенсивности пульсаций тангенциальной  $\varepsilon_\varphi = \sqrt{w_\varphi'^2} / V$  и осевой  $\varepsilon_z = \sqrt{w_z'^2} / V$  ( $V$  – осредненное значение полной скорости в данной точке) составляющих скорости при исследованном смещении и различных значениях  $Re_{вх}$ . Приведенные данные хорошо согласуются с результатами исследований турбулентности закрученных потоков в незагруженных циклонных камерах и кольцевых каналах [3, 8].

Распределения  $\varepsilon_\varphi$  и  $\varepsilon_z$  при смещенном с оси циклонного потока положении цилиндра определяются совокупным влиянием на турбулентность не только массовых сил, пограничных слоев, образующихся на поверхности цилиндра и циклонной камеры, расположением точек отрыва потока [9], но и числом Рейнольдса. При наибольшем значении  $Re_{вх}$  в конфузорной части течения (на рис. 6 при  $\varphi = 0^\circ$ ) наименьшие значения  $\varepsilon_\varphi$  и  $\varepsilon_z$ , равные 4,0 ... 5,5 %,

отмечены на радиусе  $\bar{r}_{\text{фм}}$ , характеризующем местоположение максимума тангенциальной составляющей (практически и полной) скорости потока.

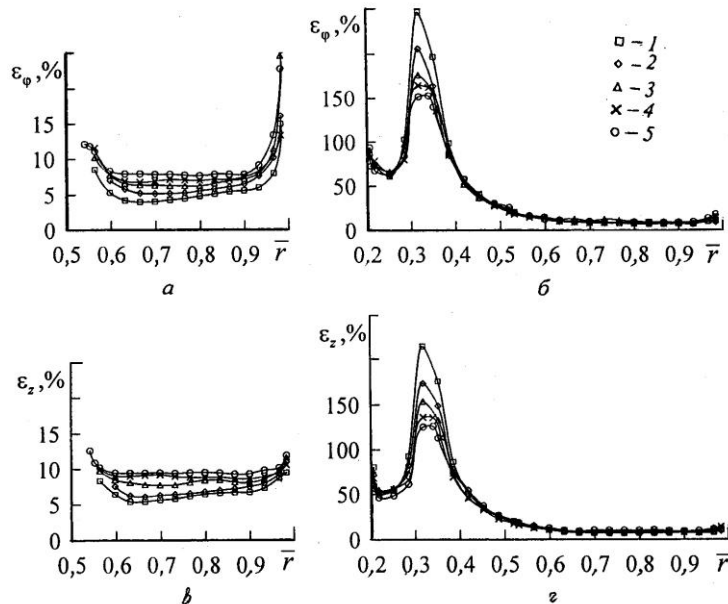


Рис. 6. Распределения  $\varepsilon_{\varphi}$  (а, б) и  $\varepsilon_z$  (в, г) по радиусу циклонного устройства в зависимости от  $Re_{\text{вх}}$  при  $\varphi = 0^\circ$  (а, в) и  $\varphi = 180^\circ$  (б, г) (обозначения опытных данных соответствуют рис. 1)

В области  $\bar{r} > \bar{r}_{\text{фм}}$  при увеличении радиуса интенсивность пульсаций возрастает до 6 ... 7 %. Резкое возрастание  $\varepsilon_{\varphi}$  и  $\varepsilon_z$  (до 10 ... 20 %) вблизи поверхности камеры и цилиндра объясняется генерацией турбулентности в пристенном пограничном слое. В диффузорной части поперечного сечения (при  $\varphi = 180^\circ$ ) минимальные значения  $\varepsilon_{\varphi}$  и  $\varepsilon_z$  перемещаются к боковой поверхности рабочего объема на радиус, равный примерно 0,7 ... 0,8 (граница ядра потока [3]), и увеличиваются до 6 ... 7 %. С уменьшением радиуса при  $\bar{r} < \bar{r}_{\text{фм}}$  в этой области течения происходит резкое увеличение  $\varepsilon_{\varphi}$  и  $\varepsilon_z$ . Наиболее высокие значения  $\varepsilon_{\varphi}$  и  $\varepsilon_z$  (до 250 %) достигнуты в центре вихря, на изотахе нулевого значения тангенциальной скорости, и в начале его образования у поверхности цилиндра за лобовой точкой 1 (при  $\varphi_d = 200 \dots 220^\circ$ ), а также за точками отрыва потока 2 и 3 [9].

При уменьшении числа Рейнольдса, вероятно, из-за снижения уровня вращательной скорости и влияния массовых сил на турбулентность потока, распределения  $\varepsilon_{\varphi}$  и  $\varepsilon_z$  по радиусу в конфузорной части постепенно выравниваются и увеличиваются до 8,0 ... 9,5 %. В диффузорной части зависимость  $\varepsilon_{\varphi}$  и  $\varepsilon_z$  от величины  $Re_{\text{вх}}$  более сложная. В циклонном потоке при  $\bar{r} > 0,52 \dots 0,55$  происходит повышение  $\varepsilon_{\varphi}$  и  $\varepsilon_z$  (на границе ядра потока – до

9 ... 10 %), а в вихре, наоборот, интенсивность пульсаций обеих составляющих скорости значительно снижается.

Уменьшение уровня тангенциальных скоростей в рабочем объеме и вторичных вихреобразований в ядре потока, а также значительные перераспределения осевых токов с уменьшением числа  $Re_{вх}$  в неавтономной области течения закрученного потока приводят к снижению такой важной характеристики циклонного устройства, как суммарный коэффициент сопротивления  $\zeta_{вх} = 2\Delta p_{п} / \rho_{вх} V_{вх}^2$  ( $\Delta p_{п}$  – разность полного давления потока на входе и выходе из циклонного устройства). Расчет коэффициента сопротивления при  $Re < Re_{вх}^{авт}$  можно производить по уравнению

$$\frac{\zeta_{вх}}{\zeta_{вх}^{авт}} = \left( 1,034 - 0,034 \frac{Re_{вх}^{авт}}{Re_{вх}} \right),$$

где  $\zeta_{вх}^{авт}$  – коэффициент сопротивления циклонного устройства при автономном режиме течения [7].

#### Выводы

1. Установлены особенности влияния числа Рейнольдса на закономерности течения сильно закрученного циклонного потока, обтекающего цилиндр, смещенный с его аэродинамической оси.
2. Приведенные в статье данные по формированию пограничного слоя на поверхности смещенного цилиндра могут служить основой для физически обоснованного анализа особенностей его теплоотдачи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жукаускас, А.А. Теплоотдача цилиндра в поперечном потоке жидкости [Текст] / А.А. Жукаускас, И.И. Жюгда. – Вильнюс: Мокслас, 1979. – 240 с.
2. Леухин, Ю.Л. Аэродинамика и конвективный теплообмен в вертикальном циклонном устройстве для нагрева круглых массивных заготовок [Текст] / Ю.Л. Леухин, Э.Н. Сабуров, И.А. Усачев, В. Гарен // Вестник АГТУ. Сер. Энергетика. – 2006. – С. 3–10.
3. Леухин, Ю.Л. Влияние числа Рейнольдса на аэродинамику кольцевого канала с закрученным потоком [Текст] / Ю.Л. Леухин, Э.Н. Сабуров, И.А. Усачев, В. Гарен // Лесн. журн. – 2004. – № 2. – С. 100–109. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Леухин, Ю.Л. Особенности обтекания цилиндра, смещенного с аэродинамической оси циклонного потока [Текст] / Ю.Л. Леухин, Э.Н. Сабуров, Д.В. Васильев // Энергетика. – 1999. – № 3. – С. 56–62. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Леухин, Ю.Л. Разработка экспериментального стенда и исследование с помощью LDA аэродинамики циклонного нагревательного устройства [Текст] / Ю.Л. Леухин, Э.Н. Сабуров, И.А. Усачев, В. Гарен // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. / АГТУ. – Архангельск, 2004. – Вып. IX. – С. 136–143.
6. Повх, И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении [Текст] / И.Л. Повх. – Л: Машиностроение, 1974. – 480 с.

7. *Сабуров, Э.Н.* Циклонные нагревательные устройства с интенсифицированным конвективным теплообменом [Текст] / Э.Н. Сабуров. – Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1995. – 341 с.

8. *Устименко, Б.П.* Процессы турбулентного переноса во вращающихся течениях [Текст] / Б.П. Устименко. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1977. – 228 с.

9. *Leuchin, J.L.* Experimentelle und theoretische Untersuchungen von Gaswirbelströmungen in Zyklonkammern mit Laser-Doppler-Anemometrie [Text] / J.L. Leuchin, I.A. Usatschjov, E.N. Saburov, W. Garen // 13 Fachtagung «Lasermethoden in der Stromungsmesstechnik». – Cottbus (Deutschland), 2005.

Архангельский государственный  
технический университет

Университет прикладных наук  
г. Эмден (Германия)

Поступила 25.09.2005

*Yu.L. Leukhin, E.N. Saburov, I.A. Usachev, W. Garen*  
**Influence of Reynolds Number on Aerodynamics  
of Cyclone Loaded Chamber**

The experimental research results of cyclone flow slipping the cylinder displaced from its aerodynamic axis are analyzed.



УДК 621.181

**В.К. Любов**

Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 150 публикаций в области совершенствования энергохозяйств промышленных предприятий.



### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ЧАСТИЦ НЕМОЛОТОГО ТОПЛИВА

Исследовано термомеханическое разрушение частиц твердого топлива; определены факторы, влияющие на данные процессы и наиболее благоприятные периоды для их наступления; предложены аппроксимирующие зависимости для расчета критической скорости, вызывающей разрушение топливных частиц при их ударе о преграду.

*Ключевые слова:* твердое топливо, тепловые напряжения, терморазрушение, уголь, древесина, топочная камера, котельная установка, радиальные и окружные компоненты напряжения, видимое горение летучих веществ, горение кокса.

Анализ эксплуатации низкотемпературных вихревых (НТВ) котлов и котлов с «кипящим» слоем при сжигании немолотых топлив показал, что эти технологии являются перспективными, так как исключают условия для хлопков и взрывов, обеспечивают возможность ступенчатого сжигания топлива в целях максимального снижения эмиссии вредных веществ, а также допускают ввод и эффективное использование сорбентов в топочных камерах для дополнительного снижения вредных выбросов. Исследования выявили ряд существенных особенностей топочных процессов в НТВ-котлах и котлах с «кипящим» слоем [1–3, 7–9] по сравнению со схемой прямооточного пылеугольного факела. Для создания экономичных и надежных топочных устройств, обеспечивающих сжигание широкой гаммы немолотых твердых топлив, необходимо изучить процессы, протекающие при нагреве, воспламенении и горении крупных частиц топлива [1, 4, 6].

При этом была разработана и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая проводить комплексное исследование процессов тепло- и массообмена для одиночных частиц в условиях, близких к условиям реальной топочной камеры [6]. Конструкция установки позволяет непрерывно фиксировать изменение массы образца во времени, яркость топливной частицы и температуру внутри и около нее при различных температурных и гидродинамических условиях ( $d_{\text{ч}} = 5 \dots 30$  мм,  $T_{\text{п}} = 400 \dots 1400$  К,  $W_{\text{п}} = 0 \dots 5$  м/с). Исследования выполняли для сферических частиц, изготовленных из древесины хвойных пород, кусков азейского бурого, черемховского, интинского, воркутинского и кузнецкого (марки Д, Г, 2СС) каменных углей.

Выполненные эксперименты показали, что наличие значительного градиента температур ( $\Delta T_{\text{пов-ц}}$ ) между поверхностью и центром (рис. 1) при прогреве крупных частиц твердого топлива вызывает появление в них тепловых напряжений. Для оценки этих напряжений и возможности терморазрушения топливных частиц был произведен расчет температурных напряжений по глубине частиц. Сферическое тело, в зависимости от размера, разбивали на 7–11 концентрических объемов, в которых выбирали узловые точки. Распределение температур в узловых точках было получено при решении задачи нестационарной теплопроводности [1, 3, 8]. В силу симметрии нулевыми будут три компоненты напряжения. При условии симметричного относительно центра частицы распределения температур, изотропности материала (анизотропию угля можно не учитывать при содержании углерода



на горючую массу  $C^{\text{daf}} < 94$  %), а также отсутствия усилий на внешней поверхности (при  $r = r_0$ ,  $\sigma_r = 0$ ) радиальную ( $\sigma_r^t$ ) и окружную ( $\sigma_{\theta_1}^t$ ,  $\sigma_{\theta_2}^t$ ) компоненты напряжения рассчитывали по зависимостям, предложенным С.П. Тимошенко:

$$\sigma_r^t = \frac{2\alpha^t E}{1-\nu} \left( \frac{1}{r_0^3} \int_0^{r_0} Tr^2 dr - \frac{1}{r^3} \int_0^r Tr^2 dr \right);$$

$$\sigma_{\theta_1}^t = \sigma_{\theta_2}^t = \frac{\alpha^t E}{1-\nu} \left( \frac{2}{r_0^3} \int_0^{r_0} Tr^2 dr + \frac{1}{r^3} \int_0^r Tr^2 dr - T \right),$$

где  $\nu$ ,  $E$ ,  $\alpha^t$  – соответственно коэффициент Пуассона, модуль упругости, коэффициент теплового расширения топливной частицы.

При расчете эквивалентных напряжений  $\sigma_{\text{экв}}^t$  для внутренней области частицы, где возникают растягивающие усилия, использовали первую теорию прочности, для наружного слоя (сжимающие напряжения) – теорию Мора.

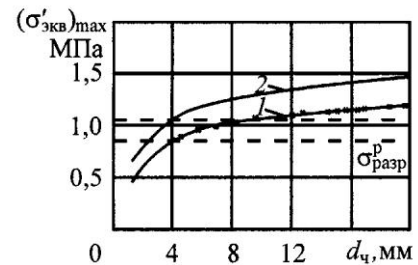
Анализ показал, что величина градиента температур между поверхностью и центром оказывает влияние на величину внутренних напряжений топливной частицы (рис. 1). Эквивалентное напряжение в направлении к центру частицы возрастает и достигает максимального значения в период видимого горения летучих. В дальнейшем оно уменьшается до момента воспламенения углеродного материала с поверхности частицы; в данный момент наблюдают второй «относительный» максимум для  $\sigma_{\text{экв}}^t$ . Исходя из характера изменения температурных напряжений по глубине частицы, мож-



но предположить, что ее разрушение должно начинаться из центральной области, однако, учитывая, что прочностные характеристики топливной частицы в процессе ее горения резко снижаются и, особенно, значительно для поверхностных слоев, возможно и «поверхностное» разрушение частицы. При проведении экспериментов на стендовой установке наблюдались оба вида разрушений [1, 3, 4, 6].

Таким образом, температурные напряжения могут играть решающую роль в процессе разрушения топливной частицы в топочной камере. Так, терморазрушение в период видимого горения летучих происходило в 66,5 % опытов для частиц азейского и черемховского углей и в 55,5 % опытов для воркутинского жирного и кузнецкого газового углей (рис. 2, 3).

Рис. 2. Влияние размера частиц интинского угля на  $(\sigma_{\text{экв}}^i)_{\text{max}}$  при  $T_{\text{г}} = 1373 \text{ К}$ :  
1 –  $W_{\text{п}} = 1,2 \text{ м/с}$ ; 2 –  $12 \text{ м/с}$



9\*

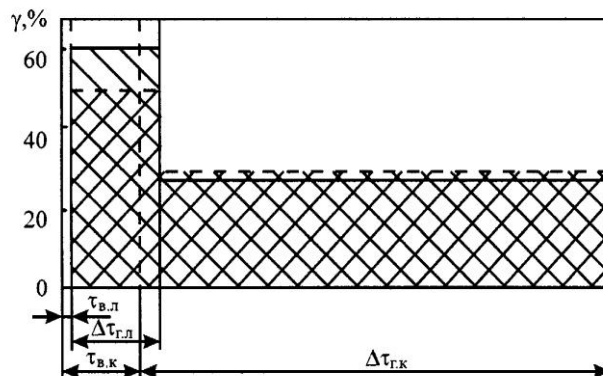


Рис. 3. Терморазрушение частиц в процессе горения ( $d_{\text{ч}} = 5 \dots 20 \text{ мм}$ ,  $T_{\text{г}} = 1073 \dots 1373 \text{ К}$ ,  $W_{\text{п}} = 0,5 \dots 3 \text{ м/с}$ ,  $\square$  – азейский бурый и черемховский каменные угли;  $\boxtimes$  – кузнецкий Г и воркутинский каменные угли)

Как показали расчеты (рис. 2) и эксперименты (рис. 3), терморазрушение наиболее вероятно для частиц топлива размером  $d_{\text{ч}} \geq 4 \text{ мм}$ , так как термические напряжения по глубине угольных частиц, связанные с неизотермичностью прогрева по радиусу, достигали следующих значений: радиальные – 1,2 МПа, окружные – 1,6 МПа, эквивалентные – 1,3 МПа. Наиболее благоприятным для терморазрушения топливных частиц является период видимого горения летучих (для древесины – горение кокса). При умень-

шении размера частиц эквивалентные напряжения убывают, и для частиц  $d_q < 4$  мм не следует ожидать термического разрушения.

Из характера движения газотопливных потоков в НТВ-топке следует, что разрушение частиц топлива обусловлено двумя основными процессами: собственно термическим разрушением и разрушением разогнанных газовыми потоками термонапряженных частиц при их ударе об ограждающие топку поверхности нагрева [3, 7–9]. Исследование процесса термомеханического разрушения сферических частиц каменных углей Печорского бассейна было выполнено на экспериментальной установке, конструкция которой рассмотрена в [5].

При отсутствии предварительной термической подготовки и прямом ударе ( $\alpha = 0^\circ$ ) критическая скорость  $V^{*p}$ , вызывающая разрушение частиц, для данных углей составила 7,0 ... 7,5 м/с (большее значение для воркутинского угля). Экспериментальные данные были аппроксимированы зависимостью, предложенной в [7, 8], м/с:

$$V^{*p} = Bm^{-0,5},$$

где  $B$  – опытный коэффициент (для бурого угля: ирша-бородинского – 1,50; азейского – 1,36; для каменного угля: черемховского – 0,57; интинского – 0,47; воркутинского – 0,50);

$m$  – масса частицы, кг.

Термообработка топливных частиц при  $T = 900 \dots 1000$  К и времени выдержки 15 ... 25 с вызвала значительное снижение значений критической скорости (в 2–2,8 раза), которая для черемховского каменного, азейского и ирша-бородинского бурых углей составила  $V^{*p} = 3 \dots 5$  м/с [7, 8]. Для углей Печорского бассейна наблюдалось аналогичное явление, при этом более сильное снижение критической скорости отмечено у воркутинского угля  $V^{*p} = 3 \dots 4,8$  м/с. Экспериментальные данные по влиянию угла удара ( $0 \leq \alpha \leq 60^\circ$ ), температуры ( $900 \leq T \leq 1373$  К), времени ( $5 \leq \tau \leq 90$  с) и убыли массы ( $m_0 - m$ ) в процессе термообработки на значение критической скорости для частиц интинского и воркутинского каменных углей были аппроксимированы зависимостью

$$V^{*p} = (A + C \sqrt{\sin \alpha}) \exp \left\{ - \left[ \left( \frac{t + 273}{273} \right)^{1,9} + 2 \left( \frac{m_0 - m}{m_0} \right)^d \right] 0,001 \tau \right\} + 0,01 + L \sqrt{\sin \alpha}, \quad (1)$$

где  $m_0$  – начальная масса частицы ( $1 \cdot 10^{-3} \leq m_0 \leq 8 \cdot 10^{-3}$  кг);

$A, C, d, L$  – эмпирические коэффициенты (для интинского угля:  $A = 5,66$ ;  $C = 2,5$ ;  $d = 1,8$ ;  $L = 1,5$ ; для воркутинского угля:  $A = 5,32$ ;  $C = 2,3$ ;  $d = 1,4$ ;  $L = 1,4$ ).

Наиболее сильное влияние на критическую скорость, вызывающую разрушение частиц, оказывают температура и продолжительность термообработки топлива. При отсутствии предварительной термической подготовки для частиц древесины критическую скорость определить не удалось, так как

она имела значения больше ( $V^{кр} > 13$  м/с), чем позволяла получить экспериментальная установка. Это вызвано более высокими прочностными характеристиками древесины по сравнению с углем. В процессе термообработки древесных частиц их прочностные характеристики значительно снижаются, что позволило обобщить результаты исследований зависимостью

$$V^{кр} = (120 + 50 \sqrt{\sin \alpha}) \exp \left[ - \left( \frac{t + 273}{273} \right)^{3,225} \left( \frac{m_0 - m}{m_0} \right)^{8,06} 0,0010 t \right] + 2,75 + 2 \sqrt{\sin \alpha}. \quad (2)$$

Область допустимого применения данной зависимости:  $0 \leq \alpha \leq 60^\circ$ ;  $1073 \leq T \leq 1373$  К,  $\tau > 40$  с.

Взаимодействие частицы с преградой рассматривалось как процесс деформации твердого тела при неупругом ударе, при этом, если нормальная составляющая скорости частицы  $V_{норм}$  при ударе больше критической скорости, определенной экспериментально или по эмпирическим уравнениям (1, 2), то такую частицу считали разрушившейся на несколько частиц, количество которых пропорционально отношению  $V_{норм}/V^{кр}$ . Если  $V_{норм} < V^{кр}$ , то при взаимодействии частицы с поверхностью во многих случаях в зоне контакта развиваются напряжения, превышающие величину разрушающих напряжений, что вызывает поверхностное разрушение частицы в этой зоне с образованием мелких фракций преимущественно с размером  $d_{ч} = 0,2$  мм. Наличие поверхностных трещин, особенно, при горении высоковлажных бурых углей и интинского каменного способствует их поверхностному разрушению с образованием мелких фракций.

Результаты выполненных исследований нашли применение при разработке мероприятий по совершенствованию НТВ-технологии для сжигания немолотых топлив, а также новых высокоэффективных схем, использующих закрученные потоки для сжигания крупнодисперсных биотоплив, а также методики расчета горения полифракционного немолотого топлива в топках НТВ-котлов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Любов, В.К.* Некоторые особенности поведения крупных фракций твердого топлива при сжигании в низкотемпературном вихре [Текст] / В.К. Любов, Ю.К. Опякин, С.М. Шестаков // Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИ ЦБП, 1989. – С. 61–65.
2. *Любов, В.К.* Опыт сжигания высоковлажных отходов промышленности в топке безмельничного котлоагрегата [Текст]: тр. 1-й Рос. нац. конф. по теплообмену / В.К. Любов, В.А. Дьячков, Ф.З. Финкер, И.Б. Кубышкин. – Т. II. Тепломассообмен при хим. превращениях. – М.: Изд-во МЭИ, 1994. – С. 163–168.
3. *Любов, В.К.* Совершенствование топливно-энергетического комплекса путем повышения эффективности сжигания топлив и вовлечения в энергетический баланс отходов переработки биомассы и местного топлива [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук (05.14.04) / В.К. Любов. – Архангельск, 2004. – 44 с.
4. *Любов, В.К.* Характер поведения крупных частиц натурального твердого топлива при различных условиях теплообмена и исследование прогрета угольных частиц [Текст] / В.К. Любов, С.М. Шестаков. – Л., 1982. – 40 с. (Деп. в ИНФОРМЭНЕРГО).

5. *Любов, В.К.* Экспериментальная установка для изучения процессов термопневморазрушения топливных частиц [Текст]: тр. ПетрГУ / В.К. Любов, В.А. Дьячков. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. – Вып. 2. – С. 39–40.

6. *Любов, В.К.* Экспериментальная установка для исследования тепло- и массообмена при прогреве и горении частиц твердого топлива [Текст] / В.К. Любов, А.И. Сосенский, С.М. Шестаков. – Л., 1981. – 14 с. (Рук. деп. в ИНФОРМЭНЕРГО).

7. *Синицын, Н.Н.* Использование процесса термопневморазрушения частиц для повышения эффективности сжигания дробленого топлива в топке ЛПИ [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Синицын Н.Н. – СПб., 1992. – 22 с.

8. *Шестаков, С.М.* Низкотемпературная вихревая технология сжигания дробленого топлива в котлах как метод защиты окружающей среды [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук (05.14.16) / Шестаков С.М. – СПб., 1999. – 39 с.

9. *Шестаков, С.М.* Особенности низкотемпературного вихревого сжигания немолотых бурых и каменных углей [Текст] / С.М. Шестаков, В.К. Любов, А.М. Павлов, Б.В. Усик // Горение органического топлива: материалы V Всесоюз. конф. ИТФ СО АН СССР. – Новосибирск: СО АН СССР, 1985. – Ч. 2. – С. 225–234.

Поступила 25.05.05

Архангельский государственный  
технический университет

*V.K. Lyubov*

### **Investigation of Thermomechanical Destruction of Solid Fuel Particles**

Thermomechanical destruction of solid fuel particles are investigated; the factors effecting the given processes and the most favorable periods of their occurrence are determined; approximating dependences are offered for calculating the critical speed causing destruction of thermostressed fuel particles when they hit the obstacle.

---



## КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

УДК 061.3:630\*81

**ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И СЕССИЯ РКСД  
В КРАСНОЯРСКЕ**

В Институте леса им. В.Н. Сукачева в Красноярске с 2 по 4 октября 2007 г. состоялась Всероссийская конференция «Дендрэкология и лесоведение», посвященная 50-летию СО РАН. В рамках конференции прошла очередная сессия Регионального координационного совета по современным проблемам лесоведения (РКСД). В числе организаторов конференции были ИЛ СО РАН, НС РАН по проблемам леса, РКСД, МГУЛ, СГТУ.

На конференции было представлено 66 докладов из 33 организаций (Институт лесоведения РАН, ИЛ СО РАН, КНЦ РАН, ИФТТ РАН, ИЯФ СО РАН, ИБ УНЦ РАН и другие академические институты, государственные университеты, природные заповедники) 24 городов России, а также Киргизии, Латвии, Польши и Украины.

С приветствием к участникам конференции обратился председатель Программного комитета, ректор Сибирского федерального университета, научный руководитель ИЛ акад. РАН Е.А. Ваганов; о пятидесятилетней истории СО РАН и деятельности Института леса рассказал один из его бывших директоров Е.С. Петренко.

На пленарном заседании с докладом «Исторические вехи отечественного лесоведения» выступил проф. Б.Н. Уголев. Были освещены основные события в более чем вековой истории развития лесоведения в нашей стране; подчеркнута роль РКСД и выделены два периода его деятельности: красноярский (1968 – 1989 гг.) и московский (с 1990 г.).

Были также заслушаны доклады В.А. Тартаковского и др. (Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск) о математической модели клеточной структуры годичных колец деревьев для анализа микрофотографий; А.В. Шашкина и Е.А. Ваганова (ИЛ СО РАН) о годичных кольцах как источнике информации для реконструкции экологических условий роста; Е.С. Петренко и др. (ИЛ СО РАН) о реконструкции динамики рангового положения деревьев по их радиальному приросту.

Работа конференции проходила в трех секциях: I – Теоретические основы дендрэкологии, биологическое лесоведение; II – Использование методов дендрэкологии в лесоведении; III – Техническое лесоведение. Почти половина из представленных докладов относилась к биологическому и техническому лесоведению.

Проблемы биологического лесоведения были представлены в докладах по широкому кругу вопросов: влияние стрессовых воздействий (мерзлота, заболоченность, засуха и др.) на структуру древесины; сравнительный анализ структуры и химического состава клеточных оболочек древесины обычной и карельской березы; роль насекомых в поражении древесины грибами синевы и меры по ее защите; изменение состава полисахаридов и фенолокислот при образовании ранних и поздних трахеид лиственницы и сосны обыкновенной; изменчивость структуры древе-

сины годичного слоя сосны в зависимости от широтной зональности и типа лесорастительных условий; различия в структуре годичного слоя деревьев сосны обыкновенной, растущих свободно и в загущенном насаждении; проведение лесохозяйственных мероприятий в целях получения древесины необходимого качества и др.

В докладах по техническому лесоведению были рассмотрены следующие проблемы: изменение угла наклона микрофибрилл в стенках трахеид древесины; прогнозирование механических свойств древесно-цементных материалов; влияние ультразвука высокой мощности на структуру и химический состав древесины дуба черешчатого; воздействие высокой температуры на древесину дуба для интенсификации процесса сушки; контроль свойств древесины с помощью органических жидкостей как молекулярных зондов, используемых в системе экологического мониторинга; анатомические особенности, химические, физико-механические и другие характеристики древесины черешни, произрастающей в Латвии, ее конкурентоспособность на мировом рынке; математическое описание процесса сушки пиломатериалов и метод расчета кинетики сушки сосновых пиломатериалов с учетом термовлагопроводности; методика датирования древесины для подбора материала при реставрации деревянных памятников и художественных произведений; определение термодинамических характеристик древесины в целях прогнозирования долговечности деревянных конструкций; использование физико-механических характеристик отдельных элементов мезоструктуры поверхности древесины (микротвердость и др.) при создании эффективных технологий ее обработки; определение коэффициента молярного переноса влаги для моделирования теплообмена внутри пиломатериалов при вакуумной сушке; обобщенные кинетические параметры парообразования для расчета внутренних источников теплоты и массы при интенсивном нагреве березовой стружки; связь концентраций атомов кальция с денситометрическими, гистометрическими и рентгенографическими характеристиками годичных слоев ели сибирской; влияние физико-механических характеристик и пороков древесины при использовании ее в качестве материала для деревянных конструкций; результаты ИК-спектроскопии древесины и определение влажностных и гигромеханических деформаций. Показано, что изменения в наноструктуре при сушке нагруженной древесины приводят к увеличению ее жесткости не только вследствие снижения влажности, но и дополнительного воздействия усилий. Обнаруженные явления должны учитываться при расчете величины замороженных деформаций, отвечающих за эффект деформационной памяти древесины.

Все вышеперечисленные проблемы были освещены в докладах, опубликованных в материалах Всероссийской конференции, посвященной 50-летию СО РАН в Красноярске.

На сессии Координационного совета с отчетным докладом выступил автор статьи и рассказал о разных формах работы РКСД, в том числе о лесоведческой экспертизе проектов национальных стандартов на круглые лесоматериалы и пиломатериалы, о деятельности РКСД как структуры УМО по образованию в области лесного дела (написание учебников и учебных пособий), об истории развития электронной микроскопии древесины по материалам, предоставленным акад. ИАВС Вальтером Лизе (Германия).

Был отмечен вклад в лесоведение членов РКСД: засл. деятеля науки РФ, проф., д-ра техн. наук Л.М. Ковальчука (ЦНИИСК, Москва) в связи с 80-летием и доц., канд. техн. наук Т.К. Курьяновой (ВГЛТА, Воронеж) в связи с 70-летием. С прискорбием сообщено о кончине проф., д-ра с.-х. наук Е.В. Харук, много лет проработавшей в СибГТУ (Красноярск).

Кроме докладов, опубликованных в материалах конференции, от членов РКСД и членов Реестра экспертов поступило около 40 письменных сообщений из многих городов России, а также из Зволена (Словакия), Киева и Львова (Украина), Познани (Польша), Риги (Латвия), Софии (Болгария) об научно-исследовательской и экспертной деятельности в области древесиноведения и прикладных дисциплин.

Члены РКСД приняли участие или представили доклады на международных (Г.Ф. Антонова – Канада, Латвия; М.В. Кистерная, В.А. Козлов – Италия, Венгрия), всероссийских и университетских конференциях.

Было проведено 6 семинаров НТС «Деревянные конструкции» РААСН, где рассматривались различные проблемы использования древесины в строительстве, прочности, долговечности деревянных конструкций. Заседания проходили под руководством проф. Л.М. Ковальчука, в них приняли участие вице президент РААСН В.И. Травуш и члены РКСД Б.Н. Уголев, Е.Н. Покровская, И.И. Пищик и др.

На сессии были избраны новые члены РКСД: канд. биол. наук Л.Л. Леонтьев (СПбГЛТА), д-р техн. наук А.Д. Платонов (ВГЛТА), проф., д-р техн. наук В.Е. Ермолин, д-р техн. наук Р.Р. Сафин (КазГТУ).

Сессия обсудила и одобрила предложение Международной академии наук о древесине (ИАВС) провести годовую сессию ИАВС 2009 г. в России (Москва и С.-Петербург).

Для участников конференции и сессии РКСД была организована экскурсия по Красноярску, в дендрарий Института леса и в парк флоры и фауны «Роев ручей».

Участники конференции и сессии РКСД выразили глубокую благодарность зам. директора Института леса, акад. ИАВС С.Р. Лоскутову за хорошую организацию, техническую подготовку и проведение сессии.

Более подробный отчет о сессии и другие материалы содержатся в бюллетене «Информация РКСД-2007».

**Б.Н. Уголев**

Московский государственный  
университет леса

*B.N. Ugolev*

**All-Russia Conference and Session of Regional Coordination Council  
for Modern Problems of Wood Science in Krasnoyarsk**

---



## ЮБИЛЕИ

УДК 06.091.5

**ЮБИЛЕЙ ГЕННАДИЯ МИХАЙЛОВИЧА КОЗУБОВА**

5 февраля 2008 г. исполнилось 80 лет Геннадию Михайловичу Козубову, доктору биологических наук, профессору, заслуженному деятелю науки Российской Федерации и Республики Коми.

После окончания в 1953 г. Львовского лесотехнического института с отличием Геннадий Михайлович работал на Лесоплодовой опытной станции АК-Терек Института биологии Киргизского филиала АН СССР, в Судайском леспромхозе комбината «Костромалес». С 1956 г. он начал работать в Карелии в должности старшего научного сотрудника Петрозаводской лесной опытной станции Ленинградского НИИ лесного хозяйства. Окончив аспирантуру в Институте леса Карельского филиала АН СССР и защитив кандидатскую диссертацию в Ботаническом институте АН СССР, Геннадий Михайлович прошел все ступени научной карьеры от младшего научного сотрудника Института леса до заведующего лабораторией (1972 г.). В 1971 г. Г.М. Козубов защитил докторскую диссертацию в Красноярском институте леса и древесины им. В.Н. Сукачева. 40 лет его научной деятельности связано с Республикой Коми: с 1967 г. он был научным консультантом, в 1982–1993 гг. – заведующим отделом лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми филиала АН СССР, с 1993 г. до июня 2006 г. – главным научным сотрудником этого отдела. Общий трудовой и научно-педагогический стаж Г.М. Козубова составляет 58 лет, из них 44 года в системе АН СССР (РАН).



Г.М. Козубов приложил много сил для формирования в России научной школы в области комплексных морфофизиологических исследований хвойных растений с использованием цитоэмбриологических, гистологических и электронно-микроскопических методов, в том числе в Институте



биологии Коми филиала АН СССР, Центральном НИИ лесной генетики и селекции, Институте биологии Якутского филиала АН СССР и других научно-исследовательских учреждениях биологического профиля.

Под руководством и при непосредственном участии Г.М. Козубова в течение 7 лет (1986–1992 гг.) проводились комплексные радиобиологические исследования лесов в районе аварии на Чернобыльской АЭС. Разработанные им предложения по стабилизации радиоэкологической обстановки в радиационно загрязненных лесах были одобрены правительственной комиссией и рекомендованы для использования в УССР, БССР и РСФСР. В сентябре 1996 г. он был награжден орденом Мужества, а в декабре 2007 г. Геннадию Михайловичу присуждена (совместно с А.И. Таскаевым) премия президиума УрО РАН им. Н.В. Тимофеева-Ресовского за цикл работ, посвященных этим исследованиям.

Научные труды Г.М. Козубова широко известны у нас в стране и за рубежом. Он автор и соавтор около 180 научных трудов, в том числе 15 монографий. За подготовку и издание атласа ультраструктуры растительных клеток ему (совместно с сотрудниками БИН АН СССР М.Ф. Даниловой и А.Е. Васильевым) в 1972 г. присуждена премия президиума АН СССР им. К.А. Тимирязева. В 1990 и 2000 гг. по инициативе Г.М. Козубова коллективом авторов были подготовлены две фундаментальные монографии: «Леса Республики Коми» и «Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми» (общим объемом около 100 п. л.), редактором-составителем которых он являлся. В 2001 г. ученому в составе коллектива основных авторов этих книг присуждена Государственная премия Республики Коми в области науки.

Много внимания и труда Геннадий Михайлович уделял подготовке высококвалифицированных научных кадров. Под его руководством защищены 15 кандидатских и 3 докторские диссертации. В течение 7 лет он возглавлял диссертационный совет по защите кандидатских и докторских диссертаций.

Научная и общественная деятельность Геннадия Михайловича отмечена почетной грамотой Президиума Верховного Совета Коми АССР, медалью «Ветеран труда», почетными грамотами президиума АН СССР и Российской академии наук. В 1991 г. он удостоен почетного звания «Заслуженный деятель науки Республики Коми», а в 1996 г. – «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

Сердечно поздравляем Геннадия Михайловича с юбилеем и желаем ему творческих успехов, крепкого здоровья и долгих лет жизни!

Коллектив Института биологии  
Коми НЦ УрО РАН

*Employees of Institute of Biology of Komi Scientific Centre of Ural Branch  
of Russian Academy of Sciences*  
**Jubilee of Gennady M. Kozubov**

---

**УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,  
ПОМЕЩЕННЫХ В «ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ»  
в 2007 г.**

**Неволин О.А.** Славный юбилей летописи лесного дела (к 175-летию «Лесного журнала» и 50-летию серии «Известия высших учебных заведений»). № 6-7.

**ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО**

**Бажина Е.В., Аминев П.И.** Особенности семеношения и морфология побегов деревьев пихты сибирской, пораженных ржавчинным раком. № 3-7.

**Братилова Н.П.** Влияние числа семян на рост 25-летнего кедра сибирского в плантационных культурах. № 6-54.

**Буторова О.Ф., Шестаков К.В.** Фенология интродуцентов в дендрарии Сибирского государственного технологического университета. № 2-48.

**Буторова О.Ф., Похабова Е.А.** Интродукция ореха маньчжурского в дендрарии Сибирского государственного технологического университета. № 4-12.

**Главацкий Г.Д., Цай Ю.Т., Груманс В.М.** Оптимизация системы мероприятий по охране труда и технике безопасности лесных пожарных. № 5-16.

**Горбунова С.И.** Всхожесть семян хвойных растений различных географических образцов. № 4-30.

**Горкин А.И.** О нормативах потенциальной продуктивности основных древостоев по выходу живицы. № 1-42.

**Горобец А.И., Максименко А.П.** Результаты плантационного выращивания ивы в Краснодарском крае. № 6-36.

**Грязькин А.В.** Рациональная хозяйственная деятельность как способ реализации возобновительного потенциала лесных экосистем. № 5-36.

**Давыдычев А.Н., Кулагин А.Ю.** Характеристика ювенильного периода в большом жизненном цикле ели сибирской в широколиственно-хвойных лесах Уфимского плато. № 1-27.

**Доронищева Е.В., Мартынюк А.А.** Экспериментальное обоснование допустимого воздействия кислотных осадков на березовые экосистемы. № 1-34.

**Кистерная М.В., Аксененкова Я.А.** Изменение анатомического строения древесины сосны под влиянием комплекса лесохозяйственных мероприятий. № 4-19.

**Колтунов Е.В.** Факторы дефолиации кроны березы повислой в лесостепи Зауралья в условиях антропогенного воздействия. № 3-50.

**Коровин В.В., Мальшукова Н.В., Щекалев Р.В.** Рост средневозрастных и приспевающих сосновых древостоев на территории водосбора Горьковского водохранилища. № 3-21.

**Краснов В.Г., Краснова В.Ф., Алексеев И.А., Яковлев А.С.** Санитарное состояние искусственных насаждений дуба черешчатого в Среднем Поволжье. № 6-42.

**Кулагин А.Ю., Давыдычев А.Н.** Особенности роста пихты сибирской на начальных этапах онтогенеза в широколиственно-хвойных лесах Уфимского плато. № 3-43.

**Максимов В.М.** Исследование взаимосвязи смолопродуктивности с содержанием монотерпенов *Pinus sylvestris* L. в условиях Усманского и Хреновского боров. № 2-41.

**Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Братилова Н.П.** Рост кедровых сосен на гибридно-семенной плантации в пригородной зоне Красноярска. № 5-7.

**Михайлов Ю.Е.** Популяционные адаптации жуков-листоедов в горных лесах Рудного Алтая. № 3-29.

**Моисеев Н.А.** Проблемы лесного сектора экономики и его законодательного обеспечения. № 1-7.

**Невидомов А.М., Петухов Н.В.** Ландшафтно-биогеоценотическая характеристика памятника природы Нижегородского Поволжья «Лесной массив, включающий географические лесные культуры М.Г. Здорика». № 2-7.

**Раевский Б.В., Мордась А.А., Ильинов А.А.** Изменчивость и взаимосвязь морфологических признаков и биометрических показателей семян сосны и ели. № 6-21.

**Разумников Н.А., Конохова О.М., Рябинин М.И.** Груша уссурийская в Среднем Поволжье. № 2-28.

**Рубцов М.В., Дерюгин А.А.** Рост ели под пологом южно-таежных березняков и после рубки их с сохранением подроста. № 2-19.

**Рыбкина С.В., Беляков М.В.** Применение оптического излучения для стимулирования прорастания семян ели европейской. № 4-14.

**Толкач О.В., Соколов С.Л., Шнайдер А.** Реакция годичного радиального прироста на внешние условия в зависимости от степени толерантности березовых древостоев. № 3-14.

**Фрейберг И.А., Залесов С.В., Луганский Н.А.** Лесорастительное районирование Зауральской лесостепи. № 2-34.

**Хабидуллина Ф.М., Творожников Т.А.** Роль микромицетов в трансформации растительных остатков в ельнике чернично-зеленомошном средней подзоны тайги. № 4-40.

**Цай Ю.Т., Груманс В.М.** Определение оптимального суточного рациона питания лесных пожарных. № 3-36.

**Цветков В.Ф.** К концепции упорядочения и совершенствования лесопользования на Европейском Севере России. № 1-19.

**Цветков В.Ф.** Формирование насаждений. № 5-27.

- Шелухо В.П.** Управление состоянием хвойных лесов в районах техногенного воздействия. № 4-7.
- Шлапак В.П.** Фитомасса надземной части чистых и смешанных культур сосны Черкасского бора. № 4-34.
- Шлапак В.П.** Фитомасса корней в культурах сосны в свежих суборях и судубравах. № 6-49.
- Шульга В.Д.** К обоснованию приемов создания заведомо устойчивых древостоев в степи. № 5-20.
- Юркина Е.В.** Состав и функционально-биоценотическая структура энтомофауны в сосняках при разной степени их антропогенной нарушенности. № 4-25.

#### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Базаров С.М., Валяжонков В.Д.** Разработка теории циклов и полциклов в техноприродогенезе для различных технологических процессов лесозаготовок. № 4-47.
- Буторин Н.Н.** Трассирование дороги по карте на экране монитора. № 2-70.
- Варава В.И., Антипин В.П., Власов Е.Н., Каршев Г.В., Токин А.П.** Энергозатраты трактора ТБ-1. № 5-45.
- Иванова Н.С.** Закономерности объемов заготовки и выхода фанерного кряжа. № 5-57.
- Иванова Н.С., Мазуркин П.М.** Распределение деревьев березы на лесосеке по ступеням толщины и товарности. № 6-58.
- Илинский В.А., Морозов С.И.** Определение параметров силовой функции при соударении деревянных и металлических тел. № 4-71.
- Климов О.Г., Доронищева Е.В.** Концентрация загрязняющих веществ, выбрасываемых лесопромышленными тракторами. № 3-66.
- Меньшиков А.М., Копейкин А.М.** О новом способе анализа и интерпретации технологического процесса лесозаготовок. № 2-65.
- Морозов С.И., Попов М.В.** Теоретические основы расследования дорожно-транспортных происшествий. № 3-59.
- Мурашова О.В., Митрофанов А.А.** Исследование гидродинамических характеристик плоских сплоченных единиц на моделях и в натуральных условиях. № 1-58.
- Павлов А.И., Ширнин Ю.А.** Исследование динамики гидропривода сучкорезной машины. № 3-71.
- Павлов Ф.А., Казанцев В.В., Мясоедов М.А.** Разработка норм расхода дизельного топлива на пробег лесовозного автопоезда. № 3-75.
- Павлов Ф.А., Чельшева Т.В.** Оценка прочности дорожной одежды, ослабленной оттаявшим весной слоем земляного полотна. № 4-53.
- Питухин А.В.** Методы теории катастроф при проектировании элементов конструкций машин и оборудования лесного комплекса. № 2-58.
- Платонов Е.И.** Станок для ударной окорки бревен с поперечной подачей. № 4-66.
- Посметьев В.И., Пухов Е.В.** Имитационное моделирование движения колесных и гусеничных машин на вырубках. № 1-52.
- Рукомойников К.П.** Способ разработки лесосек. № 6-70.
- Синицын С.С.** Обоснование силовой передачи колесных лесотранспортных машин. № 5-53.
- Стуков В.П.** Конструктивно-технологическая система пролетного строения моста с деревожелезобетонными балками. № 4-62.
- Стуков В.П.** Особенности строительства мостов на Европейском Севере. № 6-64.
- Сюнев В.С., Соколов А.П., Солнышков В.М.** О новых методах, повышающих эффективность системы технического обслуживания лесотранспортных машин на основе ГИС-технологий. № 4-58.
- Харитонов В.Я., Посыпанов С.В.** Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава. № 1-45.
- Шегельман И.Р., Щеголева Л.В., Лукашевич В.М.** Обоснование периода эксплуатации зимних лесовозных дорог. № 2-54.

#### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- Агеев С.П.** Энергетическая характеристика электропривода механизма окорки роторного окорочного станка. № 3-93.
- Агеев С.П.** Энергетические режимы работы окорочных станков. № 4-104.
- Банников А.А., Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И.** Повышение точности пиления древесины на ленточнопильных станках. № 1-83.
- Бачин О.И.** Вязкость разрушения сталей для изготовления круглых пил. № 5-84.
- Буглаев А.М.** Мобильное деревообрабатывающее оборудование для обработки тонкомерной древесины. № 3-100.
- Васильев С.Б.** Влияние параметров оборудования на процесс сортирования щепы. № 2-86.
- Васильев С.Б., Симонова И.В.** Влияние параметров дисковой рубильной машины на качество щепы. № 6-75.
- Глебов И.Т.** Расчет касательной силы резания древесины. № 6-83.
- Глухих В.Н.** Упругая деформативность древесины поперек волокон. № 5-77.
- Ермичев В.А., Тихомиров В.П.** Расчет передач цилиндрических зубчатых колес лесохозяйственных машин. № 4-98.
- Иванов Д.В., Буров С.В.** Об обеспечении лесопильных предприятий пиловочным сырьем. № 3-86.
- Кацадзе В.А., Виноградов Д.В.** Объемная пропитка древесины центробежным способом. № 3-82.
- Мильченко И.В.** Шероховатость пиломатериалов рамной распиловки. № 3-105.
- Миляев А.С.** Определение коэффициента постели при расчете конструкции кругового сечения в упругой среде. № 1-67.
- Петухов С.В.** Обоснование технологических параметров механизма перемещения узла резания торцовочного станка. № 4-92.

- Пилюшина Г.А., Памфилов Е.А.** Повышение работоспособности лесопильного оборудования. № 4-85.
- Питухин А.В., Янюк Ю.В., Питухин Е.А.** Управление процессом послефлотационной сушки щепы. № 5-66.
- Сергеевичев А.В., Волков А.Ю.** Изготовление оцилиндрованных бревен и точность обработки. № 5-72.
- Сергеевичев В.В.** Математическая модель процесса прокатки древесных материалов в валковых прессах. № 4-77.
- Сметанин А.С., Цветкова Т.В.** Повышение эффективности лесопильного производства. № 2-74.
- Соколовский Я.И., Дендюк М.В., Поберейко Б.П.** Моделирование деформационно-релаксационных процессов при сушке древесины. № 1-75.
- Суровцева Л.С., М.М. Царева.** Потери древесины при предварительной торцовке тонких досок. № 6-78.
- Цой Ю.И., Крутов С.М., Марчук А.Ю.** Физико-химические процессы в окрашенных образцах древесины после климатического старения. № 5-62.
- Черных А.Г., Ильюшенко Л.В.** Определение угла наклона годичных слоев к пласти с помощью сканирования. № 2-81.
- Шешукова Н.В., Михайлов Б.К.** Развитие методов прогнозирования деформативности древесины с учетом влажности. № 1-87.

#### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Агеев М.А.** Экспериментальные исследования движения пузырьков воздуха через сеть волокон макулатуры. № 2-96.
- Агеев М.А., Короткий А.И.** Движение пузырька воздуха в волокнистой суспензии при флотации. № 6-114.
- Аксенов А.С., Чухчин Д.Г., Новожилов Е.В., Беневоленский С.В., Чулкин А.М.** Влияние фракций ферментных препаратов ксиланаз на белимость сульфатной целлюлозы. № 2-90.
- Антонов В.И., Ягодин В.И.** Экстракционная переработка древесной зелени пихты и кедра сибирских. № 5-89.
- Антонов В.И., Ягодин В.И.** Влияние способа обработки коры пихты сибирской на выход и качество продуктов. № 6-91.
- Боголицын К.Г., Скребец Т.Э., Кожевников А.Ю., Лебединцева Е.Е.** Натронная варка целлюлозы с органическим растворителем. № 2-106.
- Григорьев Л.Н., Шанова О.А., Александрова Т.А.** Образование сероводорода при обжиге каустизационного шлама. № 1-118.
- Дьякова Е.В., Комаров В.И., Носкова Е.С.** Устойчивость к инициированию и росту трещин в структуре целлюлозно-бумажных материалов. № 1-125.
- Емельянова М.В., Чухчин Д.Г., Новожилов Е.В.** Перспективы использования липазы в целлюлозно-бумажном производстве. № 1-110.
- Иванченко Н.Л., Боголицын К.Г., Шкаев А.Н., Потапова Е.Ф.** Изучение сольватации гваякола в водно-этанольных средах методом вольтамперометрии. № 2-100.
- Казаков Я.В., Зеленова С.В., Комаров В.И.** Влияние неоднородности структуры на характеристики жесткости картонов-лайнеров. № 3-110.
- Карманов А.П., Кочева Л.С., Кузьмин Д.В., Броварова О.В., Миронов М.В., Беляев В.Ю.** Свойства растворов и конформационные характеристики макромолекул диоксанлигнинов. № 4-112.
- Комаров В.И., Холмова М.А.** Влияние числа Каппа сульфатной хвойной ЦВВ на ее вязкоупругие свойства. № 4-134.
- Коряковская Н.В., Попов В.К.** Применение теории фракталов для оценки структурной неоднородности бумажного полотна. № 6-109.
- Косарева Е.Н., Богданович Н.И.** Экотоксикологический контроль сточных вод посредством методов биотестирования на предприятиях ЦБП. № 1-100.
- Майорова Л.П.** О некоторых особенностях химизма сульфитной щелочной варки березовой древесины. № 5-94.
- Полежаева Н.И.** Новые продукты с использованием канифоли, полученной при комплексной переработке коры пихты и лиственницы сибирской. № 5-102.
- Прокопьев С.А., Пильщиков Ю.Н., Молодцев Ю.А., Киповский А.Я., Пилякин В.Н.** О возможности получения бионефти из отходов древесного сырья. № 6-95.
- Суслов В.А.** Повышение эффективности регенерации отработанных варочных растворов целлюлозных предприятий. № 4-121.
- Тупин П.А., Чухчин Д.Г., Соколов О.М.** Криоскопический метод определения активности ферментов в ЦБП. № 5-106.
- Хакимова Ф.Х.** Бисульфитная целлюлоза из смесей молодой тонкомерной древесины различных пород и балансовой ели. № 1-93.
- Хакимова Ф.Х.** Особенности бисульфитной делигнификации молодой и спелой древесины ели. № 3-121.
- Холмова М.А., Комаров В.И., Гурьев А.В.** Влияние соотношения свободно отделяемых и принудительно разделяемых волокон на свойства сульфатной хвойной ЦВВ. № 3-128.
- Шевнина Е.А., Чухчин Д.Г., Комаров В.И., Соколов О.М.** Варианты применения в ЦБП деструктурированной плазмохимическим методом древесины. № 6-103.

#### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Мосягин В.И., Пэй Яньчжао.** Экономическая эффективность энергетического использования вторичных древесных ресурсов. № 5-118.
- Резанов В.К., Шихалев В.В., Скурская А.В.** Модель управления параметрами концентрационных процессов в лесном комплексе многолесного региона. № 1-145.
- Романов Е.С., Лаврова И.В.** Многообразие форм ограничений доступности лесных ресурсов. № 1-141.

**Романов Е.С., Лаврова И.В.** Эволюция экономических отношений предприятий-поставщиков и переработчиков древесного сырья. № 5-112.

**Чистякова А.П.** Минимизация транзакционных издержек как фактор повышения эффективности лесного комплекса. № 2-111.

**Шадаева И.Е.** Оценка эффективности разделения функций лесхозов. № 2-117.

**Шегельман И.Р., Рудаков М.Н.** Бюджетная эффективность лесопромышленного комплекса Карелии: проблемы и перспективы. № 3-134.

#### КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Щеголева Л.В.** Процесс лесопромышленного производства с использованием вторичных ресурсов биомассы дерева. № 1-152.

#### МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

**Кишенков Ф.В., Неруш М.Н., Рубцов В.И., Сенищенков М.А.** Разработка программно-методического модуля по изучению курса «Экология Брянской области». Раздел «Леса Брянщины». № 5-142.

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

**Антонов А.М., Бабич Н.А., Коновалов Д.Ю., Мелехов В.И., Мосеев А.Л.** Дигитальный метод изучения строения древесины. № 2-123.

**Боровиков В.М., Михайлова Е.М.** Повышение эффективности систем теплоснабжения. № 5-122.

**Галиахметов Р.Н., Варфоломеев Ю.А.** Формирование синергического эффекта в антисептиках. № 2-129.

**Галиахметов Р.Н., Варфоломеев А.Ю.** Производственные испытания нового антисептика на еловых пломатериалах. № 5-133.

**Леухин Ю.Л., Сабуров Э.Н., Усачев И.А., Гарен В.** Влияние числа Рейнольдса на аэродинамику циклонной загруженной камеры. № 6-120.

**Любов В.К.** Уменьшение загрязнения окружающей среды. № 2-135.

**Любов В.К.** Повышение эффективности работы котельных установок. № 5-135.

**Любов В.К.** Исследование термомеханического разрушения частиц немолотого топлива. № 6-129.

**Малыгин В.И., Перфильев П.В.** Использование системы автоматического проектирования при моделировании деревянных домов из оцилиндрованных бревен. № 4-147.

**Мочалов Б.А., Сеньков А.О.** Рост сеянцев сосны с закрытыми и открытыми корнями в культурах таежной зоны. № 4-144.

**Невзоров А.Л., Коршунов А.А.** Исследование свойств хвостовых отложений как источника техногенной нагрузки на окружающую среду. № 4-140.

**Неволин Н.Н., Евдокимов И.В.** Тяжелые металлы и мышьяк в растительности сосняка черничного. № 1-157.

**Петухова Н.М.** Архитектурный комплекс железной дороги Вологда–Архангельск. № 3-138.

**Стрелков И.М.** Повышение износостойкости круглых пил методом лазерной термической обработки. № 5-130.

**Шепель Г.А., Наденин В.Ф., Баланцева Н.Б.** О коэффициенте температуропроводности древесины. № 2-132.

#### ИСТОРИЯ НАУКИ

**Рыбалкин А.И.** Сведения о лесах Российской империи. № 3-145.

#### КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

**Уголев Б.Н.** Всероссийская конференция и сессия РКСД в Красноярске. № 6-135.

#### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

**Ипатов Л.Ф.** «Тайга». № 2-143.

#### ЮБИЛЕИ

**Коллеги, ученики.** Юбилей Николая Алексеевича Бабича. № 5-147.

**Коллектив Института биологии Коми НЦ УрО РАН.** Юбилей Геннадия Михайловича Козубова. № 6-138.

**Суслов В.А., Куров В.С., Луканин П.В., Иванов А.Н., Ашкалунин А.Л.** С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров 75 лет готовит инженеров для целлюлозно-бумажной промышленности России. № 1-159.