

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ 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

2002

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **И.И. Гусев**, проф. **Р.Е. Калитеевский**, проф. **А.Н. Кириллов**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **Е.Г. Мозолевская**, **В.В. Мусинский**, доц. **О. А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **В.И. Онегин**, проф. **Г.С. Ошепков**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **В.К. Попов**, проф. **С.М. Репях**, проф. **А.Р. Родин**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Е.Д. Сабо**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.И. Санев**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **Г.А. Чибисов**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

Ответственный секретарь – заслуженный работник культуры **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**  
Компьютерный набор **О.В. Деревцовой**, верстка **Е.Б. Красновой**

---

Сдан в набор 27.11.2002. Подписан в печать 27.12.2002.  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,6. Усл. кр.-отт. 13,6.  
Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, тел.: (818-2) 28 07 18,  
факс: (818-2) 28 07 14, e-mail: forest@agtu.ru <http://lesnoizhurnal.agtu.ru>

---

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



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- В.А. Усольцев, Ю.В. Усольцева, С.В. Залесов.* Географические закономерности распределения фитомассы березы в Северной Евразии ..... 7
- Е.Н. Наквасина.* Дегидратация хвой сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области ..... 15
- В.В. Петрик.* Косвенные признаки смолопродуктивности сосны обыкновенной ..... 21
- О.Г. Климов.* Взгляд на применение некоторых терминов в лесном хозяйстве. 25
- Д.Г. Мясницев, В.Г. Малышев.* Эмпирическая оптимизация компоновки и технологических регулировок лесохозяйственного мотоплуга ..... 27

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- В.Ф. Полетайкин.* Моделирование эксплуатационных режимов лесопогрузчиков ..... 33
- В. Штолльманн.* Роботы при валке дерева ..... 37

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- В.С. Петровский, А.О. Сафонов.* Исследование закономерностей удаления влаги из древесных частиц в прямоточных барабанных сушилках ..... 42
- В.Н. Курицын, Е.С. Шиловостова.* Влияние влажности древесины на динамику процесса пиления ..... 48
- В.И. Харчевников, Т.Н. Стородубцева.* Упругие характеристики древесины сосны – армирующего заполнителя композиционных материалов на основе полимерного и цементного связующих ..... 52
- Ю.А. Варфоломеев, Л.А. Баданина.* Влияние анизотропии строения и свойств древесины на расчет ее воздухопроницаемости ..... 60

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- К.Г. Боголицын, Н.Р. Попова, Т.Э. Скребец, А.Е. Кошелева.* Делигнификация древесины, катализируемая соединениями металлов переменной валентности ..... 67
- Е.В. Дьякова, Л.А. Миловидова, В. И. Комаров, Т. Н. Коробейникова, М. Н. Лукина.* Влияние различных модификаций нейтрально-сульфитной варки на физико-механические свойства полуцеллюлозы ..... 85
- А.В. Вураско, А.-В.К. Жвирблите, А.Я. Агеев, С.Ю. Меньшиков, Н.В. Сухинина.* Исследование эффективности действия антрахинона при натронной варке древесины березы. 1. Влияние антрахинона на лигноуглеводный комплекс ..... 91
- О.А. Самылова, А.М. Айзенштадт, К.Г. Боголицын, М.В. Богданов, Д.Г. Чухчин, Ю.Г. Морозова.* Эффективный потенциал хвойных малоизмененных препаратов лигнина в водно-щелочной среде ..... 98

---

<i>С.А. Медведева, Г.П. Александрова, А.П.Танцырев.</i> Гель-проникающая хроматография арабиногалактана .....	108
<i>А.В. Малков, К.Г. Боголицын, А.М. Айзенштадт, Д.С. Косяков.</i> Влияние электролитов на кинетику окисления родственных лигнину фенолов системой $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} - [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ .....	114
<i>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</i>	
<i>Н.И. Кожухов, И.Б. Муслимов.</i> Показатели эффективности управления производством и сбытом целлюлозно-бумажной продукции .....	121
<i>Н.Н. Довбня, С.А. Наумов, А.М. Невидомов.</i> Пути повышения эффективности использования нижегородских лесов .....	127
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</i>	
<i>Е.В. Платонова.</i> Влияние типа покрытия дороги на скорость движения.....	137
<i>НЕКРОЛОГИ</i>	
<i>ФГУП ЦНИЛХИ, Архангельский государственный технический университет, С.-Петербургская лесотехническая академия.</i> Памяти Владимира Ивановича Лисова .....	
Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2002 г. ....	139

---



## CONTENTS

## FORESTRY

- V.A. *Usoltsev, Yu.V. Usoltseva, S.V. Zalesov.* Geographical Regularities of Birch Phytomass Distribution in Northern Eurasia..... 7
- E.N. *Nakvasina.* Dehydration of Scots Pine Needles in Geographical Cultures of Arkhangelsk Region..... 15
- V.V. *Petrik.* Indirect Features of Resin-efficiency of Scots Pine..... 21
- O.G. *Klimov.* On Terminology in Forestry..... 25
- D.G. *Myasishchev, V.G. Malyshev.* Empiric Optimization of Configuration and Process Adjustment of Forestry Power Plow..... 27

## WOODEXPLOITATION

- V.F. *Poletaikin.* Modeling of Operating Conditions of Log Loaders..... 33
- V. *Shtollmann.* Robots in Tree Felling..... 37

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

- V.S. *Petrovsky, A.O. Safonov.* Regularity Study of Water Elimination from Wood Particles in Streamline Rotary Driers..... 42
- V.N. *Kuritsyn, E. S. Shilokhvostova.* Effect of Wood Humidity on Sawing Dynamics..... 48
- V.I. *Kharchevnikov, T.N. Storodubtseva.* Elastic Characteristics of Pine Wood – Reinforcing Aggregate of Composite Materials on Base of Plastic and Concrete Binders..... 52
- Yu.A. *Varfolomeev, L.A. Badanina.* Influence of Wood Structure and Properties Anisotropy on its Air Permeability Calculation..... 60

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- K.G. *Bogolitsyn, N.R. Popova, T.E. Skrebets, A.E. Kosheleva.* Catalytic Delignification by Compounds of Variable Valency..... 67
- E.V. *Djakova, L.A. Milovidova, V.I. Komarov.* Influence of Different Modifications of Neutral-sulfite Cooking on Physical-and-mechanical Properties of Semicheical Pulp..... 85
- A.V. *Vurasko, A.-V. K. Zhvirblite, A.Ya. Ageev, S. Yu. Menshikov, N.V. Sukhinina.* Study of Anthraquinone Effect under Alkaline Pulping of Birch Wood. 1. Influence of Anthraquinone on Lignocarbonhydrate Complex..... 91
- O.A. *Samylova, A. M. Aisenschadt, K. G. Bogolitsyn, M.V. Bogdanov, D. G. Chukhchin, Yu. G. Morozova.* Effective Potential of Coniferous Native Lignin Preparation in Aqueous-alkaline Medium..... 98
- S.A. *Medvedeva, G.P. Alexandrova, A.P. Tantsyrev.* Gel-penetrating Chromatography of Arabinogalactans..... 108
- A.V. *Malkov, K.G. Bogolitsyn, A.M. Aisenschadt, D.S. Kosyakov.* Influence of Electrolytes on Oxidation Kinetics of Lignin Related Phenols by System  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} - [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ..... 114

---

*ECONOMICS AND MANAGEMENT*

- N.I. Kozhukhov, I.B. Muslimov.* Management Efficiency Measures for Production and Sale of Pulp-and-paper Products ..... 121
- N.N. Dovbnya, S.A. Naumov, A.M. Nevidomov.* Ways of Enhancing Efficiency of Nishny Novgorod Forests Use..... 127

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE*

- E.V. Platonova.* Influence of Pavement Type on Driving Speed..... 137

*NECROLOGUE*

- Central Scientific Research Forest Chemical Institute, Arkhangelsk State Technical University, St.-Petersburg Forest Technical Academy.* In Commemoration of Vladimir I. Lisov.....
- Index of Articles Issued by «Lesnoi Zhurnal» in 2002 ..... 139
-



УДК 630\*52:630\*174.754

***В. А. Усольцев, Ю. В. Усольцева, С. В. Залесов***

Усольцев Владимир Андреевич родился в 1940 г., окончил в 1963 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства Уральского государственного лесотехнического университета, заведующий лабораторией экологии и биопроductивности антропогенных растительных сообществ Ботанического сада УрО РАН. Имеет более 250 печатных научных работ по проблемам оценки и моделирования биологической продуктивности и структуры фитомассы лесов.



Усольцева Юлия Владимировна родилась в 1982 г., студентка Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 3 научные печатные работы.



Залесов Сергей Вениаминович родился в 1953 г., окончил в 1981 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 170 печатных научных работ по проблеме повышения продуктивности лесов Урала.



## **ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАС- ПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОМАССЫ БЕРЕЗЫ В СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ\***

Сформирована база данных о фитомассе березы из 476 определений на территории от Великобритании до Японии. Рассчитаны системы рекурсивных уравнений как для массообразующих показателей, так и для фитомассы, дифференцированные по 29 регионам Северной Евразии. Установлено снижение фитомассы березняков по

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 00-05-64532 и 01-04-964524).

мере ухудшения климатических условий по зональному и провинциальному градиентам.

*Betula*, биопродуктивность, лесорастительные зоны и провинции, континентальность климата.

Известно, что основой функционирования биосферы является ее первичная продуктивность и что жизнь человека и всех гетеротрофов зависит от первичной продукции, но лишь в последние десятилетия представление о продукционной способности биосферы вышло за рамки «просвещенных догадок» и получило некоторое количественное подтверждение [13]. Сегодня данных о запасах основного «держателя» органического углерода – фитомассы лесного покрова – накоплено уже достаточно, чтобы попытаться свести их, хотя бы на примере Северной Евразии, в единую базу и дать географический анализ фитомассы лесов.

Цель настоящей работы – сформировать базу данных о фитомассе березы, широко представленной в Северной Евразии, построить по ним ориентированную на многофункциональное применение систему регрессионных моделей фитомассы и выявить зонально-провинциальные закономерности распределения фитомассы по ее запасу и фракционному составу на территории Северной Евразии.

Сформированная нами база данных о фитомассе рода *Betula* (рис. 1) состоит из 476 (включая собственные) определений ее фракционного состава, взятых из 128 литературных источников, в том числе: 452 – для *B. verrucosa* и *B. pubescens* (провинции Среднеевропейская, Скандинавско-Русская, восток Русской равнины, Уральская, Западно-Сибирская, Средне-сибирская, Восточно-Сибирская, Дальний Восток (Приморье), Забайкальская, Алтае-Саянская, Кавказско-Малоазиатская); 6 – для *B. tortuosa* (лесотундра востока Русской равнины и средняя тайга Восточно-Сибирской провинции), а также по 1-3 определения для *B. Kusmisscheffii* (северная тайга востока Русской равнины), *B. Ermani* (северная тайга Дальнего Востока, южная тайга Забайкалья и Япония), *B. platyphylla* (средняя тайга Дальнего Востока и Япония), *B. costata* (Дальний Восток, Приморье), *B. Maximowicziana* и *B. grossa* (Япония), *B. Gmelini* и *B. lanata* (южная тайга Забайкалья). Подавляющая часть экспериментальных данных (95 %) приходится на долю *B. verrucosa* и *B. pubescens*, анализируемых далее совместно. Аналогичным образом совместно проанализированы *B. Ermani*, *B. platyphylla*, *B. Maximowicziana* и *B. grossa* в Японии, а остальные малочисленные данные (*B. tortuosa*, *B. Kusmisscheffii*, *B. japonica*, *B. Ermani*, *B. costata*, *B. platyphylla*, *B. Gmelini*, *B. lanata*) включены в анализ по регионам вместе с *B. verrucosa* и *B. pubescens*.

Экспериментальные данные после нанесения на схему зонально-провинциального деления [1, 4, 6] распределились по 29 регионам, из которых в качестве исходной принята подзона широколиственных лесов Среднеевропейской провинции (см. рис. 1). Все регионы закодированы



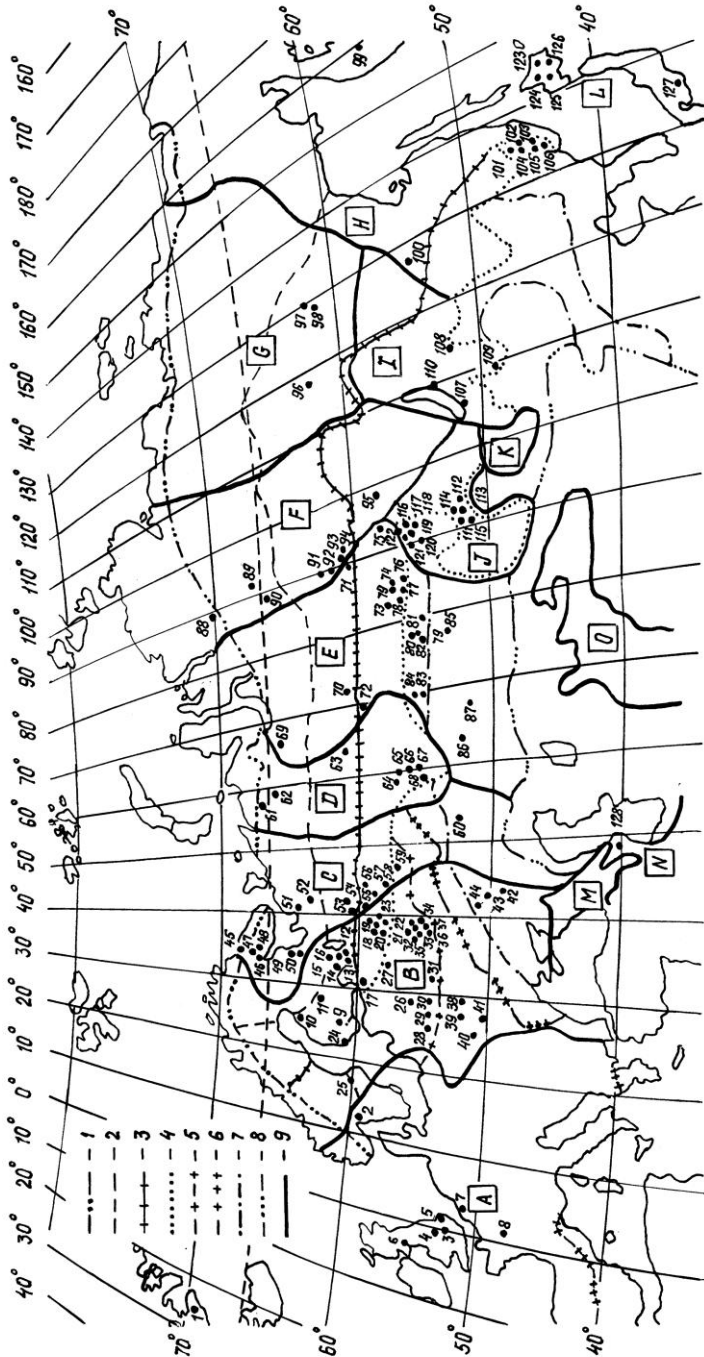


Рис. 1. География экспериментальных данных о фитомассе березы в Северной Евразии: 1 – южная граница тундры; 2 – южная граница подзоны северной тайги; 3 – южная граница подзоны средней тайги; 4 – южная граница подзоны южной тайги; 5 – южная граница хвойно-широколиственных лесов; 6 – юго-восточная граница широколиственных лесов; 7 – южная граница лесостепи; 8 – южная граница степи [1]; 9 – границы лесорастительных провинций Сибири. Выделены провинции [4, 6]: А – Среднеевропейская; В – Скандинаво-Русская (включая юг Русской равнины); С – восток Русской равнины (включая Западнo-Казахстанскую провинцию на юге); D – Уральская; E – Западнo-Сибирская (включая Восточно-Казахстанскую провинцию на юге); F – Среднесибирская; G – Восточно-Сибирская; H – Дальний Восток; I – Забайкальская горная; J – Алтае-Саянская горная; K – Центральнo-Хангайская; L – Японские острова; M – Причерноморская; N – Кавказско-Малоазиатская; O – Памиро-Тянь-Шаньская. Каждая точка на схеме соответствует одной или нескольким территориально-пробным площадям, а ее номер – позиции в базе данных.

блоковыми фиктивными переменными  $X_0, \dots, X_{28}$  [3], которые включены в структуру регрессионной модели фитомассы, имеющей общий вид [8]:

$$\ln(P_i/M) = f(X_0, \dots, X_{28}, \ln A, \ln H, \ln D, \ln N) \quad (1)$$

или [8, 12]:

$$\ln P_i = f(X_0, \dots, X_{28}, \ln A, \ln H, \ln D, \ln N, \ln M), \quad (2)$$

где  $P_i$  – фитомасса в абс. сухом состоянии стволов с корой, коры стволов, скелета ветвей, хвои, корней и нижних ярусов растительности (соответственно  $P_S, P_{SB}, P_B, P_F, P_R$  и  $P_U$ ), т/га;

$M$  – запас стволовой древесины, м<sup>3</sup>/га;

$A$  – возраст древостоя, лет;

$H$  – средняя высота деревьев, м;

$D$  – средний диаметр, см;

$N$  – число стволов, тыс. экз./га.

От использования интегрального показателя полноты, обычно применяемого при оценке запасов стволовой древесины, в нашем исследовании пришлось отказаться. Большая информативность густоты по сравнению с полнотой при оценке фитомассы полога древостоев была статистически доказана еще С.Б. Байзаковым [2, 7]. В развитие этого положения и в ориентации на многофункциональное применение регрессионных моделей фитомассы древостоев было показано [8], что плотность древостоя в таких моделях опосредуется не одной переменной, а двумя ортогональными составляющими – густотой и средним диаметром стволов. Поэтому при одной и той же полноте, но диаметрально противоположных сочетаниях густоты и среднего диаметра ствола фитомасса полога древостоя может различаться в два-три раза.

Схема кодировки регионов и конкретный вид уравнений (1) – (2) аналогичны таковым для лиственницы [10]. Коэффициенты  $R^2$  для независимых переменных в (1) – (2)  $\ln(P_S), \ln(P_{SB}), \ln(P_F/M), \ln(P_B/M), \ln(P_R/M), \ln(P_U/M)$  составили соответственно 0,98; 0,96; 0,79; 0,71; 0,40; 0,65.

Поскольку уравнения (1) – (2) работают по принципу «Что будет, если...?», для получения запасов фитомассы в том или ином регионе мы совместили их с набором массоопределяющих показателей  $A, H, D, N$  и запасов  $M$ , характерных для региона, согласно цепочке взаимозависимых уравнений:

$$\begin{aligned} \ln H = f(X_0, \dots, X_{28}, \ln A) \rightarrow \ln D = f(X_0, \dots, X_{28}, \ln A, \ln H) \rightarrow \\ \rightarrow \ln N = f(X_0, \dots, X_{28}, \ln A, \ln H, \ln D) \rightarrow \ln M = f(X_0, \dots, X_{28}, \ln H, \ln D, \ln N). \quad (3) \end{aligned}$$

Независимые переменные уравнений (3) объясняют 83 ... 96 % изменчивости массообразующих показателей и запаса стволов. Если с помощью системы уравнений (1) – (2) оценивается достоверность региональных



различий в структуре фитомассы при условии равенства массообразующих показателей, то система (3) обуславливает достоверность региональных различий самих массообразующих показателей, накапливая вклад каждого из них в конечный результат – запас стволов.

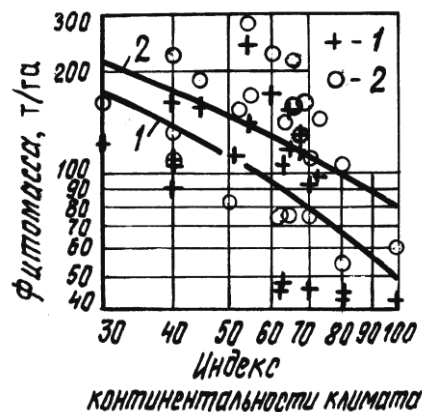
Последовательным табулированием рекурсивных систем уравнений (3) и (1) – (2) по задаваемым значениям возраста получены возрастные тренды всех массообразующих показателей и запасов фитомассы по фракциям для каждого региона, которые можно рассматривать в качестве специфических характеристик видов *Betula* и использовать для сопоставления их биопродуктивности. Закономерности накопления фитомассы с возрастом в березняках различаются по регионам: в более жестких климатических условиях полярного пояса (лесотундра востока Русской равнины и Западно-Сибирской провинции) максимум фитомассы приходится на возрастную диапозону 65 ... 95 лет, а в подзоне широколиственных лесов Европы и Японии на 115 ... 135 лет. В целом в древостое возраста 15 лет запасы фитомассы березы составляют 32 ... 59, в 25 – 56 ... 78, в 35 – 75 ... 88, в 135 лет – 81 ... 118 % к запасам в возрасте 55 лет. Наибольшие запасы массы листвы приходятся на возраст 95 ... 115 лет во всех регионах лесной зоны кроме полярного пояса, где они стабилизируются и остаются примерно на одном уровне после 15 ... 25 лет.

Из упомянутых возрастных трендов взяты показатели надземной и общей фитомассы для возраста 55 лет (рис. 2) и проанализированы в связи с природной зональностью и континентальностью климата (зональный и провинциальный градиенты). Запасы фитомассы в общих чертах соответствуют общей схеме профиля продуктивности [5]. По широтному градиенту (см. рис. 2) профиль продуктивности фитомассы оказался наиболее четко выражен в меридиональном диапазоне 35 ... 45° в. д. (Скандинавско-Русская и Кавказско-Малоазиатская провинции), где фитомасса закономерно увеличивается от 113 т/га в средней тайге до 225...283 т/га в подзонах широколиственных лесов и степи, а далее к югу (Кавказско-Малоазиатская провинция) снижается до 56 т/га. Последовательное возрастание запасов фитомассы от лесотундры и северной тайги к югу происходит в провинциях востока Русской равнины, Уральской, Среднесибирской и Дальнего Востока (см. рис. 2). В Западно-Сибирской провинции общая фитомасса березняков возрастает от 42 т/га в северной тайге до 160 ... 163 т/га в южной тайге и лесостепи с последующим снижением до 146 т/га в подзоне степи.

Упомянутые показатели фитомассы из возрастных трендов (за исключением полярного пояса) сопоставлены с индексами континентальности (рис. 3), снятыми со схемы ее изолиний, построенной с использованием формулы С. П. Хромова [11]. Связь надземной фитомассы березы ( $P_{abo}$ , т/га) с индексом континентальности  $IC$  описывается уравнением

$$\ln P_{abo} = 3,3909 + 1,6968 (\ln IC) - 0,3432 (\ln IC)^2; R^2 = 0,448 \quad (4)$$

Рис. 3. Связь расчетных по уравнениям (1)–(3) показателей надземной (1) и общей (2) фитомассы 55-летних березняков с индексом континентальности климата (по С.П. Хромову [11])



и общей фитомассы ( $P_{tot}$ , т/га) –

$$\ln P_{tot} = 4,3991 + 1,1039 (\ln IC) - 0,2404 (\ln IC)^2; R^2 = 0,426, \quad (5)$$

которые действительны при  $IC > 35 \dots 40$ . Таким образом, индекс континентальности климата объясняет изменчивость надземной и общей (надземной и подземной) фитомассы березы соответственно на 45 и 43 %.

Результаты табулирования (4) – (5) показывают (см. таблицу), что по мере ухудшения климатических условий роста и соответственно возрастания индекса континентальности от 30 до 100 % последовательно снижается надземная фитомасса березы от 180 до 51 т/га и подземная – от 36 до 29 т/га, а отношение подземной фитомассы к надземной возрастает от 0,20 до 0,58.

Таким образом, сформированная база данных о фитомассе березы дала возможность рассчитать многофакторные регрессионные модели фитомассы, совместить их с возрастными трендами массообразующих показателей, полученными только по материалам сформированной базы данных, и впервые для березняков Северной Евразии выявить зонально-провинциаль-

#### Соотношение фракций фитомассы березняков Северной Евразии в возрасте 55 лет в связи с индексом континентальности климата

Индекс континентальности	Фитомасса, т/га		Отношение $P_{root} / P_{abo}$
	надземная $P_{abo}$	подземная $P_{root}$	
30	180	36	0,20
40	145	36	0,25
50	119	36	0,30
60	98	35	0,36
70	82	34	0,41
80	69	32	0,47
90	59	31	0,52
100	51	29	0,58

ные закономерности изменения их фитомассы. Подтверждены результаты, ранее полученные для лиственницы [9]: фитомасса, как надземная, так и общая, закономерно изменяется по провинциальному градиенту, снижаясь от атлантического побережья в направлении полюса континентальности в районе Якутска и затем вновь возрастая в направлении тихоокеанского побережья. До сих пор подобной закономерности не было выявлено даже при традиционном таксационном районировании по запасу стволовой древесины. Установлено также соответствие между запасами фитомассы березняков и «профилем продуктивности» по зональному градиенту [5]. Многовариантность применения изложенной методологии и упомыная многофункциональность разработанной системы моделей обсуждались ранее [8–10].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базилевич Н. И., Родин Л. Е.* Картограммы продуктивности и биологического круговорота главнейших типов растительности суши // Изв. ВГО. – 1967. – Т. 99, № 3. – С. 190–194.
2. *Байзаков С. Б.* Некоторые закономерности накопления древесной зелени в сосновых лесах Казахстана и перспективы ее промышленного использования: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Алма-Ата: КазСХИ, 1969. – 28 с.
3. *Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.
4. *Курнаев С. Ф.* Лесорастительное районирование СССР. – М.: Наука, 1973. – 203 с.
5. *Лавренко Е. М., Андреев В. Н., Леонтьев В. Л.* Профиль продуктивности надземной части природного растительного покрова СССР от тундр к пустыням // Ботанич. журн. – 1955. – Т. 40, № 3. – С. 415 – 419.
6. *Смагин В. Н.* и др. Лесохозяйственное районирование Сибири / В. Н. Смагин, И. В. Семечкин, Н. П. Поликарпов и др. // Лесные растительные ресурсы Сибири. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1978. – С. 5–23.
7. *Токмурзин Т. Х., Байзаков С. Б.* Рекомендации по таксации надземной массы и освоению древесной зелени сосновых и еловых лесов Казахстана. – Алма-Ата: КазСХИ, 1970. – 63 с.
8. *Усольцев В. А.* Формирование банков данных о фитомассе лесов. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1998. – 541 с.
9. *Усольцев В. А.* Биологическая продуктивность лиственниц Евразии в связи с зональностью и континентальностью климата // Лесная таксация и лесоустройство: Межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск: СибГТУ, 2000. – С. 228–236.
10. *Усольцев В. А., Колтунова А. И.* Оценка запасов углерода в фитомассе лиственничных экосистем Северной Евразии // Экология. – 2001. – № 4. – С. 258–266.
11. *Хромов С. П.* К вопросу о континентальности климата // Изв. ВГО. – 1957. – Т. 89, № 3. – С. 221–225.
12. *Monserud R. A., Onuchin A. A., Tchebakova N. M.* Needle, crown, stem and root phytomass of *Pinus sylvestris* stands in Russia // Forest Ecol. Manage. – 1996. – Vol. 82. – P. 59–67.

---

13. *Whittaker R. H., Likens G. E., Lieth H.* Scope and purpose of this volume // Ecological studies: Analysis and synthesis. – 1975. – Vol. 14. – P. 3–4.

Уральский государственный  
лесотехнический университет

Поступила 04.01.02

*V.A. Usoltsev, Yu.V. Usoltseva, S.V. Zalesov*

**Geographical Regularities of Birch Phytomass Distribution  
in Northern Eurasia**

Database on birch phytomass has been formed consisting of 476 definitions covering the territory between England and Japan. Systems of recursive equations have been estimated both for mass-forming indices and phytomass differentiated for 29 regions of Northern Eurasia. The lowering of birch phytomass is stated caused by hardening the climatic conditions according to zone and province grades.

---

УДК 582.485

***Е.Н. Наквасина***

Наквасина Елена Николаевна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ботаники и общей экологии Поморского государственного университета. Имеет более 100 печатных работ в области лесных культур и лесного семеноводства.



### **ДЕГИДРАТАЦИЯ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ\***

Рассмотрены особенности потери влаги неизолированной хвоей сосны обыкновенной различного географического происхождения в опытных культурах. Показана наследственно закрепленная предрасположенность различных климатипов сосны к определенному характеру дегидратации и балансу свободной и связанной воды в хвое. Установлена связь скорости обезвоживания с продуктивностью климатипов сосны.

сосна обыкновенная, хвоя, климатипы, дегидратация.

Реакция вида на факторы окружающей среды определяется его исторически обусловленными свойствами и эволюцией. Одними из физиологических показателей, характеризующих устойчивость растений к неблагоприятным условиям роста, являются общее содержание воды в листьях и их водоотдача [13]. С устойчивостью к обезвоживанию листьев (хвои) связаны зимостойкость вида, его габитуальные показатели и генеративная сфера [3, 6–9]. Рассматриваются возможности применения показателя водоотдачи (обезвоживания, дегидратации) в качестве критерия отбора и метода диагностики устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды [7, 11].

Устойчивость к обезвоживанию обусловлена наследственно, передается потомству при семенном и вегетативном размножении [7], проявляется на географическом, популяционном и индивидуальном уровнях [1, 3, 7, 11, 15, 16]. В определенной степени она зависит от возраста растений, сезона года, условий среды [2, 3, 11, 12, 15].

Существенное изменение внешних факторов роста, вероятно, может привести к некоторым отклонениям в характере водоотдачи хвои сосны. Несоответствие условий произрастания может выражаться в уменьшении оводненности хвои [11].

---

\* Сбор материалов исследований проводился на культурах государственной географической сети, расположенных в Плесецком лесхозе Архангельской области. Куратор объектов – Северный НИИ лесного хозяйства, научное руководство при создании объекта осуществлялось Т.С. Непогодьевой.



В Мурманской области [16] в климатипах сосны различного происхождения содержание влаги в хвое колебалось от 65,4 до 78,0 %. Среднетаежные климатипы отличались большей оводненностью, чем северные и южнотаежные. При выращивании потомств различного географического происхождения в благоприятных условиях Воронежской области большая оводненность наблюдается у южных потомств по сравнению с северными. Местная сосна занимала промежуточное положение [15].

Изменчивость оводненности хвои сосны в зависимости от внешних факторов нередко приводит к разночтению приводимых в литературе данных, ограничивает сравнимость результатов, не позволяет применять зависимости, установленные для одних регионов, при анализе климатипов, выращиваемых в других условиях. Изучение водоудерживающей способности хвои сосны приобретает особый интерес в суровых условиях произрастания, где наиболее заметно проявляются адаптационные свойства климатипов, что позволяет проследить характер изменения их свойств и уровень проявления признаков.

Водоудерживающую способность хвои изучали у ряда климатипов сосны обыкновенной в 21-летних географических культурах Плесецкого лесхоза Архангельской области (средняя подзона тайги), созданных в 1977–1978 гг. Архангельским институтом леса и лесохимии (ныне СевНИИЛХ) как объект государственной сети географических культур.

Учитывали общее содержание воды в хвое, время ее потери до заданного уровня и характер дегидратации за период до стабилизации массы хвои. Водоотдачу определяли с использованием методических положений [4, 8, 17] на не изолированной от побегов двухлетней хвое в течение 4 сут (июль) с шагом наблюдений 8 ... 12 ч. Начали наблюдения через 8 ч после раскладывания побегов на завядание для испарения адсорбционной влаги, накопившейся в результате донасыщения хвои в течение 2 сут. Содержание влаги после донасыщения является консервативным признаком, характерным для вида, произрастающего в определенных экологических условиях. Использование методики донасыщения позволяет исключить влияние текущих внешних условий в период отбора образцов, связанное с расположением хвои, влажностью воздуха, осадками и т. п. [4].

В средней подзоне тайги в июле содержание сухой массы в хвое 23-летней сосны различных климатипов изменяется от 38 до 45 % (см. таблицу). Наблюдается тенденция к снижению относительной сухой массы у северных и восточных потомств (38 ... 42 %) по сравнению с потомствами из средней подзоны тайги и зоны смешанных лесов (41 ... 45 %). Северные климатипы сосны при естественной ксерофильности тканей сильнее всасывают воду при донасыщении. Низкая водоемкость южных климатипов, видимо, связана с меньшим содержанием мезофильных тканей по сравнению с северными [14].

Рассчитано время потери определенного процента влаги в процессе дегидратации хвои при естественном завядании охвоенных побегов. Выяснилось, что показатель  $t_{50}$ , предложенный М.М. Котовым [7] для семян,

менее тесно связан с географическим происхождением климатипов (коэффициент корреляции с северной широтой  $0,148 \pm 0,326$ ), чем  $t_{40}$  (с северной широтой  $0,502 \pm 0,249$ , с суммой температур выше  $+ 5 \text{ }^\circ\text{C} - 0,403 \pm 0,279$ ). С лесоводственной точки зрения (по М.Л. Дворецкому [5]) связь умеренная, в то же время с селекционной (по С.А. Мамаеву [10]) – достоверная.

Связь  $t_{40}$  и  $t_{50}$  с географическим происхождением климатипов носит криволинейный характер. Наименьшая скорость потери влаги у местного климатипа, лучше других адаптированного к условиям произрастания средней подзоны тайги и не испытывающего модификационных

№ климатипа	Происхождение культур			Сухая масса хвои, %	Время потери влаги, ч	
	Область, республика	Географические координаты			$t_{40}$	$t_{50}$
		с. ш.	в. д.			
2	Мурманская	67°00'	32°33'	41,9	38,0	62,0
3	Архангельская	64°45'	43°14'	40,8	40,8	57,4
4	»	62°54'	40°24'	43,0	49,8	62,0
9	Вологодская	60°00'	43°00'	44,0	24,9	30,9
14	Карелия	62°54'	34°27'	44,6	42,7	60,5
78	Свердловская	60°40'	60°24'	37,9	32,1	43,3
82	Тюменская	56°30'	66°57'	41,3	34,0	46,2
22	Псковская	57°50'	28°26'	43,9	36,1	54,3
43	Московская	55°32'	38°57'	44,2	32,4	69,0

Примечание.  $t_{40}$ ,  $t_{50}$  – время потери соответственно 40 и 50 % влаги.

2

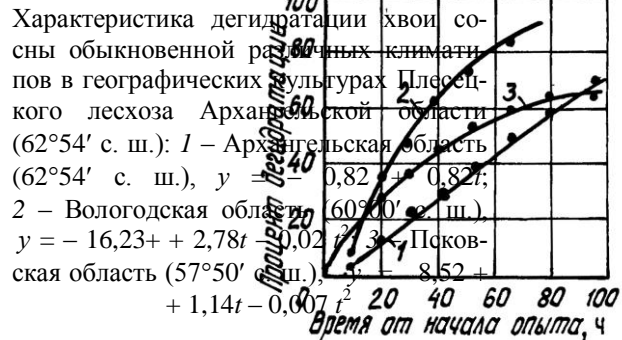
нагрузок на генотип. У северных и южных климатипов скорость дегидратации при завядании выше. У южных потомств (из зоны смешанных лесов), произрастающих в средней подзоне тайги, время обезвоживания снижается до установленного предела более интенсивно, чем у северных. Наиболее значительно оно уменьшается у восточных климатипов, сформировавшихся в условиях резкоконтинентального климата.

Скорость дегидратации и ее связь с географическим происхождением климатипов зависит от особенностей хода обезвоживания. Характер обезвоживания местного, близкого к нему климатипа из Карелии и северных (северотаежных) потомств в течение первых 4 сут завядания выражается уравнением прямой, а у южных и восточных климатипов носит криволинейный характер и аппроксимируется параболой второго порядка (см. рисунок).

У южных и восточных климатипов обезвоживание происходит значительно быстрее за счет интенсивной потери влаги в первые двое суток и более быстрой стабилизации водоудерживающей способности хвои. Разный характер оводненности северных и южных климатипов связан с различным анатомическим строением хвои и соотношением свободной и связанной воды в ее тканях.

В хвое южных сосен меньше кутикулярных тканей, что обуславливает большую интенсивность испарения, и меньше связанной воды в них, чем у северных [15]. Это позволяет предположить, что у южных климатипов в процессе формирования генотипа выработались защитные реакции, предохраняющие хвою от высыхания в сухой период сезона за счет более прочного удержания связанной (жесткоструктурированной по Ю.Е. Новицкой и др. [12]) воды в хвое и ее более экономного расхода на испарение. В первые двое суток завядания южные климатипы теряют свободную влагу, далее испарение снижается за счет «включения» защитных сил, удерживающих 45 ... 50 % влаги в виде структурированной.

У северных экотипов, сформировавшихся в условиях повышенного увлажнения, таких приспособительных свойств нет. Испарение воды происходит постепенно и способствует ее повышенной ксероморфности в естественных условиях. Доля свободной воды у них составляет 70 ... 75 %.



Корреляционная связь содержания сухой массы в хвое и времени обезвоживания с показателями роста и продуктивности климатипов в пределах опыта слабая. Наиболее заметным и обнадеживающим при поиске диагностических показателей является показатель  $t_{40}$ . Даже при небольшом наборе климатипов установлена достоверная (по С.А. Мамаеву [10]) связь этого показателя с диаметром ствола и запасом стволовой древесины (в коре) климатипов различного происхождения (коэффициент корреляции соответственно – 0,378 и 0,364 при  $t$ , равном 1,32 и 1,26.

Таким образом, характер дегидратации хвои климатипов сосны обыкновенной закреплен наследственно, но проявляется в зависимости от условий выращивания потомства, различий факторов внешней среды в местах формирования генотипа и его реализации. Климатипы разного географического происхождения, произрастающие в средней подзоне тайги, по-разному реагируют на изменение климатических условий в силу особенностей, сформировавшихся в процессе эволюции. Северные и восточные климатипы сосны, попав в более мягкие условия среднетаежной подзоны тайги европейской части России, отличаются ксероморфностью, но способны впитывать повышенное количество влаги (при донасыщении) и обезвоживаться постепенно за счет большей доли свободной воды, содержащейся в хвое. Этим, видимо, и обусловлена их повышенная ксероморфность в естествен-

ных условиях произрастания. Южные потомства (из зоны смешанных лесов), произрастающие в более суровых условиях по сравнению с местом формирования расы, хуже впитывают влагу (при донасыщении) и быстрее теряют свободную влагу, удерживая запасы жесткоструктурированной воды для создания наследственно обусловленного водного баланса растений. Возможно, повышенное содержание связанной воды и снижает их зимостойкость при выращивании в северных условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агафонова Г.В.* Состояние и рост географических культур сосны обыкновенной на Среднем Урале: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Екатеринбург, 1998. – 19 с.
2. *Ахматов К.А., Водянова С.Р.* Устойчивость хвойных пород к обезвоживанию // Интродукция и акклиматизация древесных растений в Киргизии. – Фрунзе, 1981. – С. 47–55.
3. *Белостоцкая С.Х.* Устойчивость посадочного материала сосны и ели к низким температурам в связи с условиями выращивания // Создание высокопродуктивных лесных культур. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1988. – С. 32–36.
4. *Бобровская Н.И.* О водном балансе древесных и кустарниковых видов песчаной пустыни Каракумы // Ботанич. журн. – 1971. – Т. 56, № 3. – С. 361–368.
5. *Дворецкий М.Л.* Пособие по вариационной статистике. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 102 с.
6. *Котов М.М.* Отбор семян сосны для лесосеменных плантаций // Лесн. хоз-во. – 1995. – № 1. – С. 44–46.
7. *Котов М.М.* Интеграция генетических систем и структура популяций сосны обыкновенной // Лесоведение. – 1996. – № 5. – С. 19–26.
8. *Котов М.М.* Генетико-селекционные принципы выращивания посадочного материала // Лесн. хоз-во. – 1997. – № 3. – С. 31–32.
9. *Котов М.М., Котова Л.И., Груздева Л.Н.* Разнообразие хвойных древесных растений по устойчивости к обезвоживанию хвои // Восстановление, выращивание и комплексное использование сосновых лесов России на базе боров Среднего Поволжья: Тез. докл. Всерос. науч.-техн. конф. (27–29 сентября 1995 г., Йошкар-Ола). – Йошкар-Ола, 1995. – С. 87–88.
10. *Мамаев С.А.* Основные признаки методики исследования внутривидовой изменчивости древесных растений // Индивидуальная и эколого-географическая изменчивость растений: Сб. стат. – Свердловск, 1975. – С. 3–14.
11. *Никонов В.В., Лукина Н.В.* Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. – Апатиты, 1994. – 311 с.
12. *Новицкая Ю.Е.* и др. Физиолого-биохимические основы роста и адаптации сосны на Севере / Ю.Е. Новицкая, П.Ф. Чикина, Г.И. Софронова и др. – М.: Наука, 1985. – 156 с.
13. *Петров С.А.* Исследование внутривидовой изменчивости признаков древесных растений в связи с вопросами лесной селекции: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Свердловск, 1975. – 54 с.

14. Протасов А.И., Журова П.Т. Особенности морфолого-анатомического строения вегетативных органов сеянцев сосны обыкновенной различного географического происхождения // Лесоведение. – 1998. – № 2. – С. 85–88.

15. Рязанцева Л.А., Шутяев А.М. Физиолого-биохимические особенности экотипов сосны обыкновенной в географических культурах Воронежской области // Генетика, селекция и интродукция лесных пород: Сб. науч. тр. – Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1977. – С. 91–95.

16. Сизов И.И. Об оводненности хвои сосны различного географического происхождения // Мат. отчет. сессии по итогам науч.-исслед. работ за 1986 г. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1987. – С. 44–45.

17. Цельникер Ю.Л. Скорость потери воды изолированными листьями древесных пород и устойчивость их к обезвоживанию // Тр. Ин-та леса АН СССР. – М., 1955. – Т. 27. – С. 6–28.

Поморский государственный  
университет

Поступила 13.06.01

*E.N. Nakvasina*

### **Dehydration of Scots Pine Needles in Geographical Cultures of Arkhangelsk Region**

Peculiarities of dehydration by bare scots pine needles of different provenance in test cultures are provided. The genetic predisposition of different climatypes to certain dehydration and free and coherent water balance in needles is demonstrated. The dehydration speed is found out to correlate with pine climatypes productivity.

---

УДК 630\* 284

***В.В. Петрик***

Петрик Виталий Васильевич родился в 1952 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Архангельского государственного технического университета. Имеет более 40 печатных работ в области прижизненного лесопользования.



## **КОСВЕННЫЕ ПРИЗНАКИ СМОЛОПРОДУКТИВНОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

Рассмотрена связь смолопродуктивности с некоторыми признаками ствола и кроны, указывающими на способность деревьев выделять живицу.

смолопродуктивность, сосна обыкновенная, отбор.

Исследования связи смолопродуктивности деревьев сосны с косвенными признаками, указывающими на способность выделять живицу, мы проводили на 36 пробных площадях, расположенных в различных подзонах тайги. Количество здоровых деревьев на пробной площади составляло от 120 до 177 экземпляров, что обеспечивало необходимую в статистике достоверность и точность.

Смолопродуктивность деревьев определяли по общепринятой методике (ОСТ 13-80-79). Измеряли диаметр и высоту дерева, высоту прикрепления первой живой ветви, протяженность и диаметр кроны, другие показатели, вычисляли объем кроны. На части пробных площадей брали керны древесины, измеряли прирост по диаметру на высоте груди за пять и десять лет, подсчитывали число годовых слоев в 1 см радиуса, число смоляных ходов на 1 см годового слоя и густоту вертикальных смоляных ходов на 1 см<sup>2</sup> поперечного сечения; изучали хвою и некоторые другие элементы.

Для установления тесноты связи между выходом живицы с карродециметрподновки (КДП) и каждым изучаемым признаком определяли коэффициент корреляции и корреляционное отношение. Результаты исследований показывают, что теснота связи может существенно изменяться даже в пределах одного типа леса, что связано с генетической неоднородностью сосны обыкновенной в пределах одной и той же популяции [1, 3, 7]. Это обстоятельство затрудняет поиск надежных критериев смолопродуктивности.

Результаты исследований сведены в таблицу.

## Связь смолопродуктивности сосны с косвенными признаками

Признак	Тип леса			Без учета типа леса
	черничный	брусничный	мохово-лишайниковый	
Диаметр дерева	0,36/0,36	0,37/0,39	0,46/0,52	0,40/0,42
Высота дерева	0,15/0,26	0,32/0,34	0,32/0,46	0,30/0,35
Высота прикрепления первой живой ветви	0,25/0,22	0,21/0,30	0,26/0,33	0,22/0,30
Протяженность кроны	0,31/0,40	0,28/0,40	0,15/0,30	0,24/0,35
Диаметр кроны	0,33/0,37	0,30/0,41	0,28/0,39	0,30/0,37
Объем кроны	0,38/0,52	0,28/0,45	0,29/0,42	0,29/0,43
Высота поднятия грубой коры	-	0,21/0,27	-	0,21/0,27
Густота смоляных ходов	0,37/0,32	0,47/0,51	0,35/0,36	0,35/0,41
Прирост по диаметру:				
за 5 лет	0,19/0,29	0,29/0,46	0,03/0,09	0,24/0,36
за 10 лет	0,07/0,20	0,19/0,31	0,09/0,20	0,11/0,25
Отношение диаметра дерева к его высоте	0,27/0,29	0,30/0,44	0,30/0,38	0,29/0,39
Число годичных слоев в 1 см радиуса	0,04/0,20	0,18/0,33	0,08/0,21	0,09/0,24
Число смоляных ходов на 1см годичного слоя	0,10/0,23	0,10/0,13	0,12/0,14	0,11/0,16
Масса 100 хвоинок	0,38/0,44	0,13/0,17	0,18/0,20	0,27/0,32
Длина хвои	0,28/0,37	0,12/0,20	0,32/0,18	0,18/0,20
Процент влаги в хвое	0,15/0,25	0,24/0,18	0,20/0,27	0,19/0,21
Толщина ветви	0,26/0,36	0,15/0,30	0,11/0,03	0,19/0,29
Длина ветви	0,21/0,35	0,14/0,27	0,29/0,32	0,20/0,32
Угол отхождения ветви	0,35/0,45	0,50/0,22	0,32/0,33	0,42/0,36
Продолжительность жизни хвои	0,24/0,32	0,28/0,27	0,30/0,09	0,26/0,28
Плодоношение	0,22/0,40	0,08/0,16	0,07/0,03	0,13/0,24

Примечание. В числителе – коэффициент корреляции; в знаменателе – корреляционное отношение.

В ней представлены средние данные по пробным площадям в пределах черничного, брусничного и мохово-лишайникового типов леса, а также по всем пробным площадям – без учета типа леса. Средние арифметические показатели рассчитывали по средним для каждой пробной площади данным, вычисленным статистическим способом.

Теснота связи смолопродуктивности с рассмотренными признаками, как правило, слабая (коэффициент корреляции до 0,30) или умеренная (0,31 ... 0,50), редко значительная (0,51 ... 0,70) [2]. Умеренной связью характеризуется диаметр дерева, диаметр (ширина) кроны и ее объем во всех типах леса.

От диаметра дерева во многом зависит выход живицы на карроподновку и карру. Эта связь прямая, коэффициент корреляции (0,40) и корреля-

ционное отношение (0,42) близки по значению. Однако нередко деревья одного и того же диаметра, занимающие одинаковое положение в древостое, выделяют разное количество живицы, и, наоборот, часто встречаются деревья с одинаковой смолопродуктивностью, но значительно различающиеся по диаметру.

Такие различия исследователи объясняют тем, что ростовые процессы дерева не являются причиной его высокой или низкой смолопродуктивности [6, 8]. Характерной особенностью деревьев высокой смолопродуктивности они считают разреженность кроны. Поверхность световой хвои у таких деревьев больше, но общее количество хвои меньше, чем у сосен обычной смолопродуктивности.

Связь смолопродуктивности с диаметром кроны и ее объемом умеренная (корреляционное отношение соответственно 0,37 и 0,43). Насаждения из ширококронных деревьев, как правило, более смолопродуктивны, но размер кроны не является непосредственным и определяющим фактором. Приведенные связи характерны для всех типов леса. Связи смолопродуктивности с другими показателями зависят от типа леса.

В сосняке черничном зафиксирована умеренная связь с углом отхождения ветви, массой 100 хвоинок, толщиной и длиной ветвей (корреляционное отношение соответственно 0,45; 0,44; 0,36 и 0,35).

В зависимости от угла отхождения ветвей, их размеров и массы хвои образуется определенная форма кроны. Анализ показал, что в одном и том же древостое можно встретить все типы кроны среди как высокосмолопродуктивных, так и низкосмолопродуктивных деревьев. По-видимому, нельзя выделить высокосмолопродуктивные сосны по какому-либо определенному типу кроны.

Более четко выступает связь смолопродуктивности с углом отхождения ветвей (углом ветвления). В большинстве случаев у высокосмолопродуктивных деревьев этот угол острый. По данным Е.П. Проказина [4], решающее значение имеет качество хвои, а также специфическое состояние водного баланса, связанное с излишне большой транспирационной поверхностью густоохвоенных сосен.

В сосняке брусничном отмечена значительная теснота связи с густотой смоляных ходов (корреляционное отношение 0,51). Если предположить, что смолопродуктивность определяется прежде всего числом вскрытых смоляных ходов, то эта связь должна быть наиболее тесной. Во всех случаях у высокосмолопродуктивных сосен густота смоляных ходов в среднем большая, хотя в других типах леса эта связь умеренная. Полученные данные согласуются с результатами наших предыдущих исследований.

Влияние густоты смоляных ходов на  $1 \text{ см}^2$  поперечного сечения древесины на выход живицы мы изучали также у 48 пар модельных деревьев, одинаковых по размеру, но различающихся по смолопродуктивности в 2,5–3,5 раза. Выявлена существенная разница в густоте смоляных ходов: деревья с выходом живицы 12,8 г на КДП имеют 67 смоляных ходов, с выходом 4,5 г – 55. При отборе высокосмолопродуктивных деревьев можно



использовать показатель густоты смоляных ходов 60 шт./см<sup>2</sup> и более [5], но применение его в практических целях весьма затруднительно.

Рассматривая тесноту связи смолопродуктивности с косвенными признаками дерева, необходимо отметить, что при отборе деревьев можно учитывать диаметр дерева, а также степень развития кроны (ее диаметр и объем). Однако необходимо помнить, что слабая связь показателей, как правило, не позволяет судить о смолопродуктивности дерева с достаточной степенью надежности. Повышению смолопродуктивности надо способствовать, улучшая состояние деревьев и древостоев.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Высоцкий А.А.* Биологические особенности деревьев сосны обыкновенной высокой и низкой смолопродуктивности // Генетико-селекционные основы улучшения лесов: Сб. науч. тр. – Воронеж: НИИЛГиС, 1999. – С. 106–129.
2. *Дворецкий М.Л.* Пособие по вариационной статистике. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 104 с.
3. *Правдин Л.Ф.* Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. – М.: Наука, 1964. – 191 с.
4. *Проказин Е.П.* Селекция смолопродуктивных форм сосны обыкновенной // Опыт достижения по селекции лесных пород. – М.: Изд-во Минсельхоза СССР, 1959. – Вып. 38. – С. 125–186.
5. *Суханов В.И., Чибисов Г.А., Петрик В.В.* Повышение смолопродуктивности сосновых насаждений рубками ухода // Интенсификация подсочки и использования вторичной продукции леса. – Архангельск, 1986. – С. 60–67.
6. *Чудный А.В.* О некоторых признаках и свойствах сосен высокой и низкой смолопродуктивности в Кировской области // Селекция и семеноводство древесных пород. – М., 1965. – С. 97–111.
7. *Чудный А.В.* Исследования полиморфизма сосны обыкновенной: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Л.: ЛЛТА, 1982. – 32 с.
8. *Шульгин В.А.* Отбор и разведение сосен высокой смолопродуктивности. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 87 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 20.05.02

*V.V. Petrik*

#### **Indirect Features of Resin-efficiency of Scots Pine**

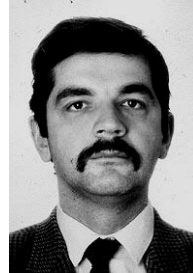
The link of resin-efficiency with some characteristics of trunk and crown is analyzed, speaking about the trees' ability to produce galipot.

---

УДК 630\*9:001.4

**О.Г. Климов**

Климов Олег Глебович родился в 1952 г., окончил в 1974 г. Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства им. В.П. Горячкина, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ВНИИЛМа. Имеет около 140 печатных работ в области механизации сельского и лесного хозяйства.



**ВЗГЛЯД НА ПРИМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕРМИНОВ  
В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ\***

На конкретных примерах рассматривается терминология, используемая в научной, технической и учебной литературе и искажающая физическую сущность явлений.

терминология, понятия, машинные технологии, КПД технологического процесса, теория управления.

В последние годы в научной литературе используют терминологию, которая не отражает физической сущности явлений и искажает установившиеся понятия, нанося вред развитию науки. Аналогичная картина и в планах НИР, где широкое распространение получили такие задания, как «разработать и внедрить энергосберегающие технологии, машины ...» или «внедрить ресурсосберегающие технологии ...», которые, по утверждению авторов, характеризуют новые прогрессивные направления в развитии отрасли. Однако названные технологии по определению уже могут быть энерго- и ресурсосберегающими только при наличии системы и критериев оценки достижения поставленной цели. В лесном хозяйстве нет ни нормативной базы, ни организаций, испытывающих машинные технологии в реальных условиях эксплуатации.

Известно, что в лесном хозяйстве большинство технологических процессов не оканчивается получением готовой продукции, а необходимо для выполнения последующих процессов, показатели которых, в свою очередь, существенно зависят от показателей предшествующих процессов. Так, при выращивании посадочного материала в питомниках затраты труда и механической энергии на выполнение основной и дополнительной (предпосевной) обработки почвы, а также уходов за растениями не сопровождаются непосредственным выходом продукции, а только в сочетании с природными факторами, и создают необходимые условия для протекания биологических процессов в почве, обеспечивающих получение будущей продукции – посадочного материала.

---

\* В порядке постановки вопроса.

Строгое соблюдение агро(лесо)технических требований при выполнении всех технологических процессов служит гарантией получения планируемой продукции. Поэтому производительность тракторных агрегатов должна определяться физическим объемом и условиями работ при обязательном выполнении агро(лесо)технических требований к процессам, невыполнение которых, естественно, скажется на будущей продукции. Так как цель всех работ – получение продукции, то затраты энергии должны определяться лесотехническими требованиями и вряд ли разумно снижать затраты энергии против теоретического уровня в ущерб количеству и качеству будущей продукции.

Технология работ в лесном хозяйстве определяется требованиями, разрабатываемыми в соответствии с природными условиями зоны. Машинные технологии обязаны обеспечивать их выполнение при условии, чтобы затраты энергии не выходили за лесотехнически обоснованные пределы.

Таким образом, приведенная научная терминология не имеет физического смысла, так как любая рабочая машина связана с потреблением, расходом энергии. Технологические затраты энергии – это теоретические затраты, определяемые требованиями, предъявляемыми наукой к выполняемому технологическому процессу, например, для основной обработки почвы – требованиями к ее перемешиванию и крошению без учета особенностей конструкции машины и характера воздействия рабочих органов на почву. Символически это подобно циклу Карно с идеальным КПД, достигнуть которого не может никакой двигатель.

Аналогично и почвообрабатывающая машина по качественным показателям должна обеспечивать заданные лесотехнические требования, а по энергетическим приближаться к теоретическим. Действительные энергозатраты всегда отличаются от требуемых (теоретических), так как при крошении и перемешивании пласта энергия тратится также на трение между комьями почвы, о поверхности рабочих органов, отбрасывание почвенных комков в борозду, а также на перемещение машины по участку.

Все это говорит о том, что понятия «энергосберегающие, ресурсосберегающие технологии и т. д.» неправомерны. Сберегать энергию можно и нужно не за счет пересмотра лесотехнических или других требований, а благодаря совершенствованию машин и агрегатов, повышению их КПД, что позволит избежать дополнительных операций.

Так, разработанная технология щадящей расчистки не является энергосберегающей. Сокращение затрат на расчистку полосы шириной 1,5 ... 1,8 м оборачивается снижением производительности всех последующих операций и уменьшением ресурса энергосредства, поставленного в худшие условия работы, так как оно вынуждено двигаться по выкорчеванным пням и валежнику.

На наш взгляд, не выдерживает критики и такое понятие, как «экологобезопасная технология». Машинная технология всегда потенциально опасна. Здесь можно говорить только об уменьшении техногенного воздействия на биогеоценоз, причем лишь на основе инструментальных методов

---

определения критериев воздействия, а не органолептических, как принято сейчас.

Говоря о каком-либо критерии, необходимо в соответствии с теорией оптимального управления установить, при каких условиях – показателях фона (влажность, твердость почвы, механический состав, условия произрастания и т. п.), режимах работы, технических средствах, технологии работ и т. д. – он достигается, в противном случае он малоинформативен и некорректен.

Итак, отношение к терминологии в лесном хозяйстве должно быть пересмотрено. Возможно, необходимо говорить и о работах по созданию методик и оборудования для оценки КПД новых машин и агрегатов.

ВНИИЛМ

Поступила 05.09.01

*O.G. Klimov*

### **On Terminology in Forestry**

Terminology used in scientific, technical and academic literature distorting the physical nature of phenomena is analyzed based on concrete examples.

---

УДК 630\* 231.331

*Д.Г. Мясищев, В.Г. Малышев*

Мясищев Дмитрий Геннадьевич родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных машин Архангельского государственного технического университета. Имеет более 30 печатных работ в области создания и исследования мобильных специальных машин лесного комплекса.



Малышев Валерий Германович родился в 1948 г., окончил в 1973 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования лесного комплекса Архангельского государственного технического университета. Имеет 33 печатные работы в области механизации технологических процессов лесохозяйственного и лесозаготовительного направлений.



**ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕГУЛИРОВОК  
ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО МОТОПЛУГА**

Приведены экспериментальные результаты по выбору оптимальной компоновки и рациональных технологических регулировок лесохозяйственной системы «мотоблок + плуг» в зависимости от специфики культивируемого фона.

лесохозяйственный мотоблок, плуг, эксперимент, энергоемкость, лесопитомник, противопожарная полоса, оптимальная регулировка.

Известно использование мотоблоков с плугами для основной обработки почвы в качестве средств малой механизации лесохозяйственных технологических процессов [2, 4]. Ввиду отсутствия специализированных лесохозяйственных образцов, в качестве тягового модуля и рабочей машины рекомендуется сельскохозяйственное оборудование, например тяжелые и конструктивно сложные мотоблоки «Риони-2», «Супер-600», «МБ-90» и другие, комплектуемые плугами с культурными отвалами.

Специфика лесохозяйственных фонов и среды функционирования делает актуальной разработку специализированных конструкций как самого мотоблока, так и его технологического шлейфа. В АГТУ с 1989 г. ведутся научно-исследовательские и проектные работы по созданию специализированной лесохозяйственной системы мобильных средств малой механизации

«мотоблок + технологический шлейф» [5]. В настоящей статье предложен вариант ее использования в качестве мотоплуга.

Рассматриваемая система включает в себя лесохозяйственный мотоблок [7], агрегируемый с комплектом пахотного оборудования. Экспериментальный мотоблок представляет собой многофункциональный специализированный самоходный модуль, предназначенный для выполнения лесохозяйственных операций с различными рабочими машинами. Он выполнен по безрамной схеме компоновки и состоит из двухтактного карбюраторного двигателя бензопилы МП-5 «Урал-2», центробежной фрикционной муфты, шестеренно-червячной трансмиссии, рукояток с вибро-ударогасящей штангой, унифицированного прицепного устройства и вала отбора мощности. Комплект плужного оборудования включает в себя однолемешный плуг с полувинтовым отвалом и металлические колеса решетчатого типа с грунтозацепами.

Мотоплуг применяется: в лесопитомниках при обработке старопахотных незадернелых и частично задернелых почв на глубину 150 ... 200 мм; прокладке новых и обновлении существующих опорных минерализованных противопожарных полос на глубину 50 ... 100 мм.

Рассматриваемый образец положительно отличается от серийных мотоблоков у него низко расположен центр тяжести, контуры облицовки предназначены для работы под пологом леса, рулевая штанга оснащена устройством для снижения энергоемкости управления агрегатом.

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОТОПЛУГА

Мощность двигателя, кВт (л. с.)	3.7 (5)
Рабочая скорость, км/ч	2 ... 4
Масса эксплуатационная, кг	116
Колея, мм	500
Радиус поворота минимальный, м	0,5
Дорожный просвет, мм	140
Габаритные размеры, мм:	
длина с рукоятками	1500
ширина	810
высота с рукоятками	900 ± 80
Топливо	Смесь бензина А-76 с моторным маслом в пропорции 20:1
Тип плуга	Одноотвальный
Ширина захвата, мм	200
Диапазон глубин обработки, мм	50 ... 200
Производительность основной работы на старопахотных фонах при средней глубине обработки 125 мм, га/ч	0,03
Производительность основной работы на прокладке опорных	

полос при фактической ширине борозды 190 мм  
и средней глубине обработки 55 мм, км/ч .....1,3  
Обслуживающий персонал, чел. ....1

Важной проблемой при создании и использовании плугов является уменьшение тягового сопротивления агрегата и удельного расхода топлива. Так, в работе [3] рассматриваются варианты рабочих органов сельскохозяйственных плугов для мотоблоков, оснащенных устройствами для регулировок фиксируемых углов установки отвала. Назначение данных настроек – обеспечить в зависимости от типа почвы уменьшение тягового сопротивления машины. При этом отмечается неизбежное усложнение конструкции таких рабочих органов и невозможность их самоадаптации к среде функционирования.

Цель настоящей работы – оптимизация компоновки и технологических настроек установки плуга в прицепном устройстве мотоблока, при которых рабочий орган самоадаптируется к условиям вспашки и обеспечивает минимум тягового сопротивления и энергоемкости процесса.

Априорный анализ действия плуга на сцепке и изучение базовых первоисточников [3, 6] показывают, что желаемая организация процесса зависит прежде всего от продольного свободного углового хода сцепки с установленным корпусом относительно мотоблока в горизонтальной плоскости, поэтому была разработана экспериментальная конструкция, позволяющая варьировать указанным фактором в конкретном компоновочном диапазоне.

Аналог указанной регулировки имеет место в инструкции по эксплуатации тяжелого сельскохозяйственного мотоблока МБ-1 с плугом, но без акцентов на ее содержание и зависимость от обрабатываемого фона.

На рис.1 представлена схема пахотного агрегата (вид сверху), где  $\alpha$  – отмеченный выше исследуемый параметр.

В эксперименте выясняли оптимальные пределы компоновки и регулировок выявленного фактора в зависимости от типа обрабатываемого лесохозяйственного фона. При этом как ограничения выступали лесотехнические требования к результатам взятых за основу исследований технологических процессов.

Испытания проводились в июле 2000 г. на участках Обозерского лесхоза Архангельской области на базе Северной лесной опытной станции Северного НИИ лесного хозяйства.

Условия проведения эксперимента были следующие.

Сплошная обработка на старопахотных фонах: категория площади – старопахотный среднезадернелый участок, рельеф ровный, мик-

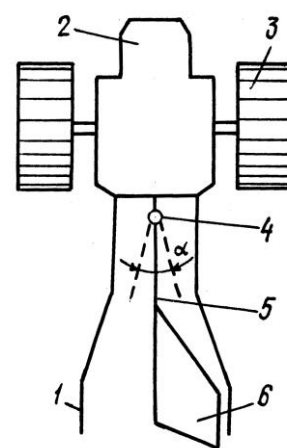


Рис. 1. Схема экспериментального мотоплуга: 1 – рукоятка; 2 – мотоблок; 3 – колесо; 4 – вертикальный шарнир с узлом регулировки; 5 – сцепка; 6 – плуг

рельеф гребнистый, тип почвы – торфяно-подзолистая суглинистая, предшествующая обработка – вспашка, твердость почвы 1,0 ... 1,5 МПа, влажность почвы 25 ... 30 %, характеристика сорной растительности: количество – 35 шт. на 1 м<sup>2</sup>, масса с 1 м<sup>2</sup> – 0,55 кг, средняя высота 0,3 м.

Прокладка опорной минерализованной противопожарной полосы: категория площади – поляна вдоль стены леса, сильно задернелый участок с наличием корней диаметром до 15 мм, рельеф ровный, микрорельеф гладкий, тип почвы – подзолистая суглинистая, предшествующая обработка – лесная целина, твердость почвы 2,5 ... 3,0 МПа, влажность почвы 20 ... 25 %.

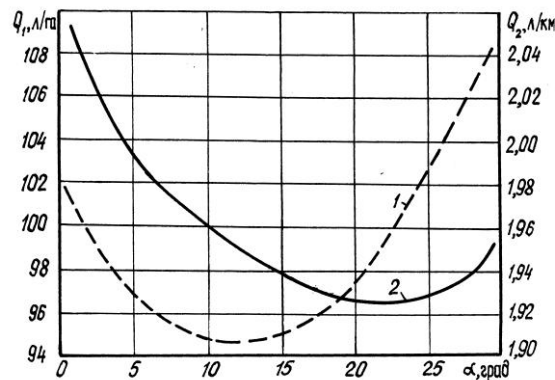
Полевые испытания базировались на методах оптимизации экспериментальных работ [1]. Оцениваемыми показателями качества функционирования системы являлись:  $Q_1$  – удельный расход топливной смеси при сплошной обработке старопахотного участка, л/га;  $Q_2$  – то же при прокладке опорной минерализованной полосы, л/км. Диапазон варьирования фактора  $\alpha$  составлял от 0 до 30 °. Рассматривается абсолютный суммарный угол  $\alpha$  (без учета знака влево и вправо от продольной оси мотоблока).

На основании первичных материалов испытаний были получены следующие зависимости:

$$Q_1 = 0,0458\alpha^2 - 1,128\alpha + 101,47;$$

$$Q_2 = 0,000275\alpha^2 - 0,0117\alpha + 2,05.$$

Рис. 2. Графическая интерпретация оптимальных решений:  
1 –  $Q_1 = f(\alpha)$ ; 2 –  $Q_2 = f(\alpha)$ ;



Исследуя данные регрессионные модели на экстремум, находим оптимальные значения параметров  $\alpha$ , обеспечивающие минимум оцениваемых функций отклика. На рис. 2 изображена графическая интерпретация искомым решений. Оптимальны варианты исследуемых технологических объектов:  $Q_{1\min} = 94,5$  л/га при  $\alpha = 12$  °;  $Q_{2\min} = 1,93$  л/км при  $\alpha = 21$  °.

Выявленные результаты необходимы для конструктивной компоновки регулировочного узла 4 (рис. 1) проектируемого мотоплуга и как технологические рекомендации по настройкам пахотного агрегата для конкретных условий действия.



Физическим объяснением полученных фактов является то, что при оптимальном угловом перемещении сцепки с корпусом имеют место определенные поперечные колебания плуга. Они сопровождаются ударами рабочего органа о стенки борозды, что является причиной «приспособляемости» лемеха к среде функционирования. В частности, уменьшается налипание пласта на отвал, улучшается крошение клина [6]. Корпус находит более «легкий» путь в разрабатываемом массиве, и в итоге снижается тяговое сопротивление агрегата.

Таким образом, предлагаемый эмпирический подход целесообразно использовать при обосновании оптимальной компоновки и технологических регулировок лесохозяйственной системы «мотоблок + плуг» в различных условиях функционирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. – М.: Высш. шк., 1985. – 327 с.
2. Ильин Г.П. Тракторы и автомобили в лесном хозяйстве и зеленом строительстве. – М.: Высш. шк., 1977. – 232 с.
3. Кусов Т.Т. К вопросу создания плугов для мотоблока // Тракторы и сельскохозяйств. машины. – 1984. – № 3. – С. 20–30.
4. Ларюхин Г.А., Климов Г.Б., Бочаров В.С. Механизация работ в лесопитомниках. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 88 с.
5. Мясищев Д.Г., Сенников М.А., Ровняков А.А. АЛТИ – земледельцам // Лесн. пром-сть. – 1990. – № 10. – С. 8.
6. Панов И.М. Выбор энергосберегающих способов обработки почвы // Тракторы и сельскохозяйств. машины. – 1990. – № 8. – С. 32.
7. Пат. 1724025 Россия, МКИ<sup>3</sup> А 01 В 3/50. Мотоблок / М.А. Сенников, Д.Г. Мясищев // Изобрет. – 1992. – № 13. – С. 3.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 28.04.01

*D.G. Myasishchev, V.G. Malyshev*

#### **Empiric Optimization of Configuration and Process Adjustment of Forestry Power Plow**

Experimental results on choosing optimal configuration and rational process adjustments of forestry system "power block + plow" depending on cultivating background particularity are provided.



УДК 630\* 377

***В.Ф. Полетайкин***

Полетайкин Владимир Федорович родился в 1935 г., окончил в 1960 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования лесного оборудования Сибирского государственного технологического университета, лауреат государственной премии СССР, заслуженный изобретатель РФ. Имеет около 150 печатных работ в области изучения динамики лесотранспортных машин.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ЛЕСОПОГРУЗЧИКОВ\***

Изложены результаты математического моделирования влияния эксплуатационных факторов на величину динамических нагрузок в элементах конструкции лесопогрузчиков.

лесопогрузчики, эксплуатационные режимы, динамические системы, математические модели, нагрузки, коэффициенты динамичности.

Лесотранспортные машины составляют широкий класс оборудования, обеспечивающего механизацию технологических процессов в лесной промышленности. В состав систем лесотранспортных машин входят лесопогрузчики различного назначения и конструктивного исполнения. В настоящее время в нашей стране наибольшее распространение получили гусеничные лесопогрузчики перекидного типа класса грузоподъемности 35 ... 40 кН, поэтому они приняты нами в качестве объектов исследований.

Эксплуатационные режимы лесопогрузчиков отличаются интенсивными динамическими процессами нагружения элементов систем, формирующимися под влиянием множества факторов эксплуатационного (технологического) и конструктивного характера.

Цель данной статьи – определение коэффициентов динамичности для различных типов лесопогрузчиков.

Уровень динамической нагруженности элементов систем зависит от скорости движения машины с грузом, формы и размеров преодолеваемых препятствий. Древесину из лесосек можно отгружать в виде деревьев, хлыстов и сортиментов.

Упругие характеристики грузов, а следовательно, и характер их взаимодействия с элементами систем лесопогрузчика различны. Оценка

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобразования РФ.

влияния каждого фактора на уровень динамических нагрузок в элементах конструкции позволяет определять расчетные положения при проектировании новых лесопогрузчиков и устанавливать допустимые эксплуатационные режимы.

В исследованиях использован метод имитационного моделирования. В качестве математических моделей приняты системы неоднородных дифференциальных уравнений второго порядка, отражающих свойства динамических систем лесопогрузчиков и входных воздействий. Из большого числа эксплуатационных факторов заметное влияние на динамическую нагруженность лесопогрузчиков оказывают скорость движения ( $v$ ), размеры преодолеваемых препятствий ( $h$ ) и вид груза (хлысты, сортименты).

Исследована зависимость динамических нагрузок от скорости движения в пределах от 0,7 до 0,9 м/с (шаг 0,1 м/с) при условии  $h_{\max} = 0,2 \text{ м} = \text{const}$ ; от высоты препятствий в пределах от 0,10 до 0,25 м при  $v = 0,8 \text{ м/с} = \text{const}$ .

Сравнительный анализ результатов моделирования движения лесопогрузчиков с упругим и жестким грузом позволяет определить степень влияния свойств груза на уровень динамических нагрузок. В процессе моделирования выполнена имитация рабочих режимов движения лесопогрузчика с упругим и жестким грузом, имеющего жесткую (системы I и II) и полужесткую (системы III, IV) подвеску корпуса. Ниже приведены модели динамических систем I – IV. Коэффициенты уравнений определены нами с использованием динамических параметров лесопогрузчика класса грузоподъемности 35 кН.

Для динамической системы I

$$\begin{aligned} \ddot{y}_1 + 3,2\dot{y}_1 - 0,58\dot{y}_2 - 1,36\dot{y}_4 + 730,28y_1 - 11,34y_2 - 156,27y_4 &= Q_1(t)/m_1; \\ \ddot{y}_2 + 1,62\dot{y}_2 - 1,62\dot{y}_1 + 32,65y_2 - 32,65y_1 &= Q_2'(t)/m_2'; \\ \ddot{y}_4 + 1,72\dot{y}_4 - 1,72\dot{y}_1 + 197,45y_4 - 197,45y_1 &= Q_2''(t)/m_2''. \end{aligned} \quad (1)$$

Для динамической системы II

$$\ddot{y}_1 + 0,58\dot{y}_1 + 261,92y_1 = Q_1(t)/(m_1 + m_2). \quad (2)$$

Для динамической системы III

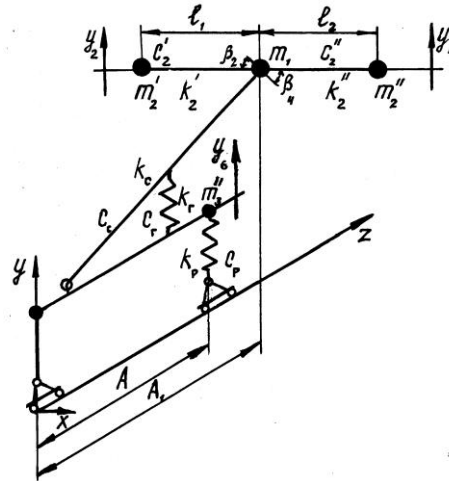
$$\begin{aligned} \ddot{y}_2 + 1,62\dot{y}_2 - 1,62\dot{y}_1 + 32,65y_2 - 32,65y_1 &= Q_2'(t)/m_2'; \\ \ddot{y}_4 + 1,72\dot{y}_4 - 1,72\dot{y}_1 + 197,45y_4 - 197,45y_1 &= Q_2''(t)/m_2''; \\ \ddot{y}_1 + 3,2\dot{y}_1 - 0,58\dot{y}_2 - 1,36\dot{y}_4 - 2,03\dot{y}_6 + 730,28y_1 - 11,34y_2 - \\ &- 156,27y_4 - 915,66y_6 = Q_1(t)/m_1; \\ \ddot{y}_6 + 9,51\dot{y}_6 - 0,75\dot{y}_1 + 1398,8y_6 - 337,03y_1 &= Q_3(t)/m_3''. \end{aligned} \quad (3)$$

Для динамической системы IV

$$\begin{aligned} \ddot{y}_1 + 0,58\dot{y}_1 - 0,807\dot{y}_6 + 261,92y_1 - 426,24y_6 &= Q_1(t)/(m_1 + m_2); \\ \ddot{y}_6 + 9,53\dot{y}_6 - 0,75\dot{y}_1 + 1398,8y_6 - 337,04y_1 &= Q_3(t)/m_3''. \end{aligned} \quad (4)$$

Расчетная схема системы III является наиболее общей, схемы I, II, IV – ее частные случаи.

Расчетная схема динамической системы III



На рисунке представлена расчетная схема динамической системы III. На схеме и в уравнениях (1) – (4):

$u_i, \dot{u}_i, \ddot{u}_i$  – перемещения, скорости и ускорения масс при вынужденных колебаниях системы;

$Q_i(t)$  – функции внешних воздействий;

$k_1'', k_2'', k_c, k_p, k_a$  – коэффициенты демпфирующих сопротивлений упругих элементов (вершинной и комлевой частей пакета деревьев, стрелы, подвески корпуса базовой машины, гидросистемы);

$c_1', c_2'', c_c, c_p, c_a$  – коэффициенты жесткости упругих элементов;

$A$  – расстояние между опорами корпуса базовой машины;

$A_1$  – расстояние по оси  $x$  от опоры корпуса до центров приведения масс груза ( $m_2', m_2''$ ) и подвижных частей рабочего оборудования ( $m_1$ );

$m_3''$  – подрессоренная масса базовой машины и рабочего оборудования;

$l_1, l_2$  – расстояния от продольной оси машины до центров масс вершинной и комлевой частей пакета.

При рассмотрении динамической системы II массу жесткого груза (сортиментов) приводили к центру массы  $m_1$ .

При имитации рабочих режимов входные воздействия принимали изменяющимися по косинусоидальному закону. Влияние факторов на состояние системы оценивали по коэффициентам динамичности нагрузок на рабочее оборудование и базовый трактор, полученным при имитации продольно-угловых колебаний в процессе движения лесопогрузчика с грузом (табл. 1, 2).

Таблица 1

№ схемы	Коэффициент динамичности нагрузок					
	на рабочее оборудование			на базовый трактор		
	Скорость движения, м/с					
	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9
I	4,89	5,21	5,36	2,05	2,25	2,50
II	4,69	4,85	5,20	2,23	2,49	2,80
III	3,83	4,44	6,20	2,10	2,38	2,41
IV	3,24	3,72	4,22	2,13	2,16	2,42

Таблица 2

№ схемы	Коэффициент динамичности нагрузок							
	на рабочее оборудование				на базовый трактор			
	Высота препятствий, м							
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,10	0,15	0,20	0,25
I	2,77	4,65	5,21	5,42	1,68	2,21	2,25	2,61
II	2,75	3,62	4,85	5,36	1,68	2,28	2,49	3,15
III	2,68	3,65	4,44	6,03	1,67	2,03	2,38	2,72
IV	2,55	2,83	3,72	4,05	1,51	2,05	2,16	2,92

Анализ данных позволяет сделать следующие выводы.

1. При повышении скорости движения с грузом от 0,7 до 0,9 м/с коэффициенты динамичности нагрузок на рабочее оборудование возрастают от 3,24 до 6,20, на корпус и элементы конструкции ходовой части базового трактора от 2,05 до 2,80; с увеличением высоты преодолеваемых препятствий от 0,10 до 0,25 м соответственно от 2,55 до 6,03 и от 1,51 до 3,15.

2. При движении с длинномерным грузом (хлыстами) коэффициенты динамичности нагрузок на рабочее оборудование на 14 ... 18 % выше, чем при движении с жестким грузом (сортиентами).

Сибирский государственный  
технологический университет

Поступила 02.07.01

*V.F. Poletaikin*

### **Modeling of Operating Conditions of Log Loaders**

The outcomes of mathematical modeling of operating factor effect on dynamic load value in the structural elements of log loaders are provided.

УДК 630\*31.001.2

**В. Штоллманн**

Штоллманн Владимир родился в 1956 г. в ЧСФР (ныне Республика Словакия), окончил в 1980 г. Технический университет г. Кошице, кандидат наук в области технологии машиностроения, доктор философии в области лесной и сельскохозяйственной механизации, преподаватель Технического университета г. Зволена. Имеет более 50 печатных работ в области робототехники, автоматизации и механизации лесного хозяйства.

**РОБОТЫ ПРИ ВАЛКЕ ДЕРЕВА**

Проанализированы особенности лесных роботов и определены области их применения.

лесозаготовки, работы, потенциал, системная модель.

Обзор глобальных направлений в робототехнике свидетельствует о том, что применение роботов из области машиностроения переносится в технологическую сферу. Их с успехом используют в сельскохозяйственной, лесной, а главным образом в сервисной областях [2] (рис. 1).

Сегодняшний уровень механизации лесозаготовительных работ характеризуется переходом от технологий, использующих мотопилы и трелевочные трактора, к многооперационным аппаратам (харвестерам), представляющим средства комплексной механизации (рис. 2).

Дальнейшее развитие технических средств будет связано с созданием аппаратов, которые движутся в насаждениях и выбирают деревья для обработки в автоматическом режиме. Это автономные мобильные аппараты [1], которые мы называем лесными роботами (ЛР). В настоящее время разработка подобных аппаратов стала реальной, и практическая реализация возможна к 2010 г. В данной статье указан системный подход к конструированию ЛР и стратегия ввода интеллектуальных систем роботов для работы в лесном хозяйстве.

Потенциал лесных роботов. Они предложены для автоматического исполнения задач в относительно неструктурированном пространстве. Здесь требуется высокая степень самостоятельности механизма, от которой существенно зависит не только успех конкретного применения,

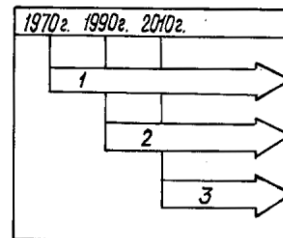


Рис. 1. Направления в робототехнике: 1 – промышленные роботы и манипуляторы; 2 – сервисные роботы; 3 – лесные роботы



Рис. 2. Многооперационный аппарат LKT 120H (Республика Словакия, Трстена)

но и удобство их обслуживания. В сложных ситуациях они должны управляться дистанционно. Необходима визуальная обработка лесного пространства с помощью вспомогательных географических информационных систем (ГИС). Сравнение требований, предъявляемых к самостоятельности различных категорий роботов, проведено на рис. 3.

Успех работы ЛР может быть обеспечен применением: интеллектуальных навигационных систем, которые могут приспособиться к изменениям окружающего пространства; оригинальных конструктивных решений механических частей роботов, обеспечивающих высокую проходимость и устойчивость даже в тяжелых условиях местности; интерфейсов для надежного переключения систем оператор/робот.

ЛР можем определить как перепрограммируемые механические устройства на базе сенсоров, которые работают в лесном пространстве согласно приказам пользователя. Области их применения в наглядной форме представлены на рис. 4,

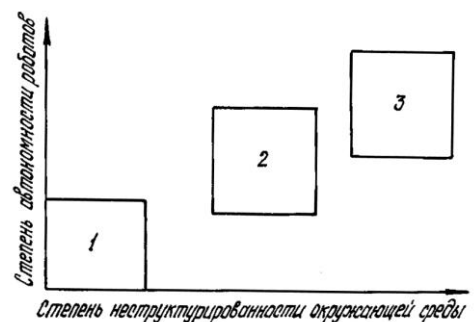
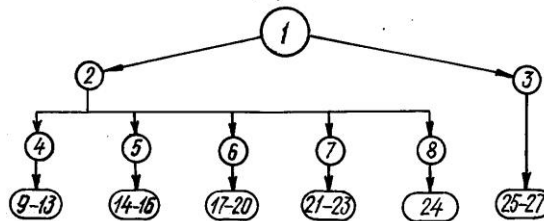


Рис. 3. Требования к роботам:  
1 – промышленным; 2 – сервисным;  
3 – лесным

Рис. 4. Потенциал лесных роботов



где 1 – потенциал лесных роботов; 2 – лесная область; 3 – нелесная область; 4 – заготовка леса; 5 – транспорт древесины; 6 – разведение леса; 7 – защита леса; 8 – проведение исследований; 9 – валка дерева; 10 – очистка стволов от сучьев; 11 – разделка на сортименты; 12 – очистка от коры; 13 – рубка щепы; 14 – вытаскивание из лесосеки; 15 – группировка; 16 – вывозка; 17 – искусственное разведение леса; 18 – прополка; 19 – удобрение почвы; 20 – полив; 21 – инсектициды; 22 – пестициды; 23 – гербициды; 24 – вершины древесины; 25 – мониторинговые системы; 26 – носители материалов; 27 – манипуляционные системы.

**Системная модель.** Работа лесных роботов в отличие от промышленных характеризуется рядом особенностей. Это тяжелые погодные условия, большое рабочее пространство, пересеченная местность, большие и тяжелые грузы. Такие условия предполагают особый систематический подход к проектированию ЛР, при котором необходимо решить следующие проблемы:

управляюще-навигационные: навигация в неопределенном пространстве, автономия, интеллектуальное поведение, приспособляемость к измененным условиям, устранение аварий, совместная работа системы робот/оператор;

технологические: интеллектуальные манипуляторы, совместимость системы робот/предмет работы, многофункциональные инструменты, ходовые механизмы, управляемые при помощи сенсоров, высокопроизводительные виды топлива;

экономико-эксплуатационные: большие капиталовложения, высокие требования к квалификации операторов, отсутствие специализированной подготовки.

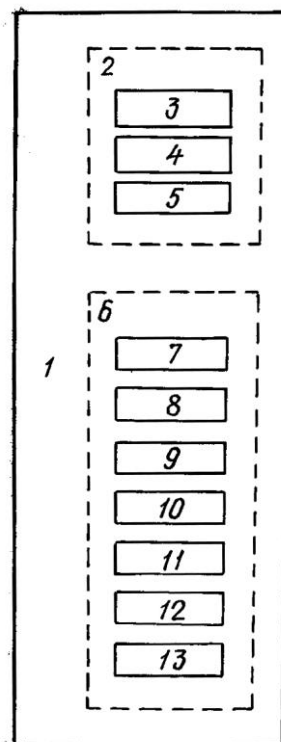


Рис. 5. Образная модель



С учетом этих требований составлена модель ЛР, главные подсистемы которой приведены на рис. 5, где 1 – лесные роботы; 2 – механическая часть; 3 – ходовая подсистема; 4 – подсистема действующего механизма (манипулятора); 5 – подсистема рабочей головки; 6 – управляющая система; 7 – навигационная подсистема; 8 – подсистема позиционирования; 9 – подсистема внутренней информации; 10 – подсистема технологических входов / выходов; 11 – подсистема оператора; 12 – сенсорная подсистема; 13 – подсистема энергетики.

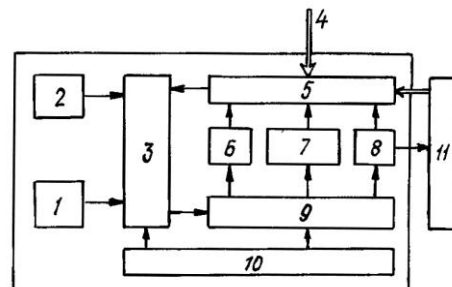


Рис. 6. Архитектура лесных роботов

На основании образных знаков можно спроектировать архитектуру ЛР (рис. 6). Здесь 1 – интерфейс оператор/робот; 2 – приемник сигнала ГПС; 3 – интеллектуальная управляющая система; 4 – окружающая среда; 5 – сенсоры внешней информации; 6 – ходовой механизм; 7 – действующий механизм; 8 – эффектор (рабочая головка); 9 – приводная система; 10 – энергетическое питание; 11 – предмет работы.

Детальные требования к архитектуре можно сформулировать при помощи рабочих эскизов. Их характеристика приведена на рис. 7, где 1 – рабочие операции; 2 – организационный цикл работы; 3 – окружающая среда; 4 – технологические входы/выходы; 5 – аварийные ситуации; 6 – связь с оператором; 7 – рабочая задача; 8 – требования к конструкции управляющей системы; 9 – требования к конструкции механической части робота. Рабочие эскизы описывают задаваемую задачу в комплексе, т. е. приводят одиночные операции и временную последовательность, аварийные ситуации и способы их решения, требования к управлению технологических исходных/выходных данных.

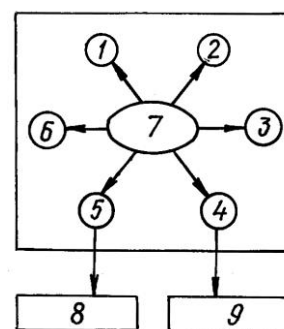


Рис. 7. Характеристика рабочего эскиза

Результаты и оценка. Разработанная модель, архитектура и рабочие эскизы представляют собой фундамент для внедрения стратегии развития лесных роботосистем. Сведения, полученные при их разработке, позволяют определить следующие направления исследования и области применения ЛР: обнаружение и определение возможных применений систем роботов в области лесного хозяйства; развитие рабочих схем ЛР, конструктивных принципов подсистем мобильности и ходового механизма на базе модуляционных принципов, интеллектуальных систем управления, сенсорных подсистем, дистанционного управления.

---

Использование лесных роботов вносит существенный вклад в повышение качества проводимых работ, охрану окружающего пространства. При этом нужна специализированная подготовка не только внедряющих коллективов, но и пользователей в сфере лесного хозяйства. Лишь хорошо обученные работники могут стать гарантами успешного внедрения этой прогрессивной техники и ее надежной эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павловкин Й., Юрчица Л. Мобильные роботы // Техническое образование как составная часть всеобщего образования. – Банска Бистрица: ФПВ УМБ, 1998. – С. 188–196.
2. Смирчек Й., Палько А., Юрчишин Й. Проблематика сервисных роботов // Strojarstvo. – 1999. – № 5. – С. 20–22.

Технический университет  
г. Зволен

Поступила 17.05.01

*V. Shtollmann*

#### **Robots in Tree Felling**

Peculiarities of forest robots have been analyzed, their application areas have been specified.

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

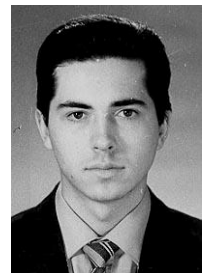
УДК 674.047

***В.С. Петровский, А.О. Сафонов***

Петровский Владислав Сергеевич родился в 1933 г., окончил в 1956 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов Воронежской государственной лесотехнической академии, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАЕН. Имеет более 350 печатных работ в области математического моделирования, оптимизации, компьютеризации, автоматизации технологий и оборудования лесного комплекса.



Сафонов Андрей Олегович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, докторант кафедры автоматизации производственных процессов ВГЛТА. Имеет более 40 печатных работ в области математического моделирования и оптимизации конвективных процессов сушки дисперсных материалов.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ В ПРЯМОТОЧНЫХ БАРАБАННЫХ СУШИЛКАХ

Получены математические зависимости, характеризующие изменение влажности древесных частиц в процессе их сушки в барабанных сушилках при производстве древесностружечных плит. Установлено, что учет сезонности работы оборудования при моделировании технологии значительно повышает эффективность сушки.

сушка, древесная частица, прямоточная барабанная сушилка, влажность, обезвоживание, скорость удаления влаги.

Сушка древесных частиц является одной из основных технологических операций в производстве древесностружечных плит. При их изготовлении конечная влажность измельченной древесины перед смешиванием со связующим находится в пределах 2 ... 4 %, что регламентируется требованиями ГОСТ 10632–89 к показателям физико-механических свойств плит. Технология сушки древесных частиц характеризуется значительными расходами энергоносителей. Имеющиеся системы и методы управления приме-

няемым оборудованием в ряде случаев не обеспечивают заданную конечную влажность высушиваемого материала. Колебания температуры отработавшего сушильного агента на выходе из агрегата приводят к возгоранию сухих древесных частиц. При этом недостаточно высокая производительность сушилок делает эту операцию «узким местом» в производстве древесностружечных плит.

Обезвоживание древесной стружки, как правило, осуществляют в сушильных барабанах. В России получили широкое распространение вращающиеся барабанные сушилки типа «Прогресс» с прямоточным движением сушильного агента и высушиваемого материала. Технология сушки древесных частиц достаточно сложная, характеризуется множеством факторов. Измерять влажность обрабатываемого материала в непрерывно вращающемся барабанном агрегате невозможно. Имеющаяся в настоящее время контрольно-измерительная аппаратура, использующая косвенные методы определения влажности древесных частиц в потоке, не отвечает требованиям точности и надежности. Также возникают технические трудности дистанционного измерения влажности древесных частиц внутри вращающейся сушилки. Поэтому необходимость создания математического аппарата, позволяющего достоверно определять влажность древесных частиц в любой момент процесса сушки, очевидна. Знание закономерностей удаления влаги из высушиваемой стружки представляется актуальным для эффективного, качественного, энергосберегающего и безопасного управления технологическими процессами.

Так как влажность частиц в процессе сушки изменяется в течение года, для получения адекватной реальному процессу зависимости были проведены эксперименты с учетом сезонности работы сушильного оборудования. Для этого были выделены следующие сезоны: зимний, весенне-осенний, летний. По результатам наблюдений за процессом сушки древесных частиц колебания начальной влажности высушиваемого материала в зимний сезон составили  $W_n = 80 \dots 100 \%$ , в весенне-осенний –  $60 \dots 90 \%$ , в летний –  $50 \dots 70 \%$ . Интервалы изменения начальной влажности стружки обусловлены температурными и влажностными параметрами атмосферного воздуха, характерными для того или иного времени года.

Для использования математических уравнений при моделировании процесс обезвоживания древесных частиц был разделен на два периода: постоянной и падающей скорости сушки. Период постоянной скорости сушки характеризуется удалением из высушиваемого материала свободной влаги, находящейся в полостях клеток и межклеточных пространствах. В период падающей скорости сушки происходит удаление связанной влаги из клеточных стенок [5]. Период удаления свободной влаги в древесине заканчивается при изменении влажности от начального значения до критического  $W_{кр}$ . Этот показатель был определен в зависимости от породного состава и массовой доли сырья, используемого при изготовлении древесностружечных плит, температурного режима внутри барабанного агрегата на основе проведенных опытов по выявлению закономерностей удаления влаги из дре-

весных частиц и анализа исследований [3, 5 – 7]. Установленный уровень  $W_{кр} = 30\%$  с достаточной для технологии сушки в агрегатах барабанного типа точностью можно принять при моделировании процесса изменения влажности древесных частиц. Это подтверждается результатами проведенных экспериментов. Период постоянной скорости сушки от  $W_n$  до  $W_{кр}$  можно описать следующим уравнением:

$$\frac{dW_1}{d\tau} = -k, \quad (1)$$

где  $\tau$  – продолжительность сушки, мин;

$k$  – эмпирический коэффициент, характеризующий скорость уменьшения влагосодержания стружки для зимнего ( $k = -2,22 - 0,0479 W_n$ ), весенне-осеннего ( $k = -1,56 - 0,0570 W_n$ ) и летнего ( $k = -0,15 - 0,0837 W_n$ ) сезонов.

Изменение влажности в единицу времени для периода падающей скорости сушки выражают следующими уравнениями:

$$\frac{dW_2}{d\tau} = \frac{Z_j + Y_j}{T} e^{\frac{\tau}{T}}; \quad (2)$$

$$Y_j = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + a_5 X_5 + a_6 X_6 + a_7 W_n + a_8 F_2 + a_9 F_3 + a_{10} F_4 + \\ + a_{11} X_1^2 + a_{12} X_2^2 + a_{13} X_3^2 + a_{14} X_4^2 + a_{15} X_5^2 + a_{16} X_6^2 + a_{17} X_1 X_2 + a_{18} X_1 X_3 + \\ + a_{19} X_1 X_4 + a_{20} X_1 X_5 + a_{21} X_1 X_6 + a_{22} X_2 X_3 + a_{23} X_2 X_4 + a_{24} X_2 X_5 + a_{25} X_2 X_6 + \\ + a_{26} X_3 X_4 + a_{27} X_3 X_5 + a_{28} X_3 X_6 + a_{29} X_4 X_5 + a_{30} X_4 X_6 + a_{31} X_5 X_6 + \\ + a_{32} W_n^2 + a_{33} F_2^2 + a_{34} F_3^2 + a_{35} F_4^2, \quad (3)$$

где  $Z_j$  – эмпирический коэффициент перехода от установившегося режима к режиму с изменением влажности стружки во времени;

$Y_j$  – конечная влажность древесных частиц, %;

$T$  – постоянная времени, мин;

$a_0 \dots a_{35}$  – эмпирические коэффициенты регрессии;

$X_1$  – температура сушильного агента на входе в барабан, °С;

$X_2$  – температура топочного газа, °С;

$X_3$  – количество подаваемой в барабан сырой стружки, кг/ч;

$X_4$  – расход природного газа для нагрева сушильного агента до заданной температуры, м<sup>3</sup>/ч;

$X_5$  – расход воздуха на горение природного газа, отн. ед.;

$X_6$  – расход воздуха на смешивание с топочным газом, отн. ед.;

$F_2$  – влажность воздуха в сушильном цехе, отн. ед.;

$F_3$  – температура воздуха в сушильном цехе, °С;

$F_4$  – температура атмосферного воздуха, °С.

В таблице представлены коэффициенты регрессии для уравнения (3) по сезонам. Исследования проводили на сушильном барабане длиной 10,0 м и диаметром 2,2 м. Количество газов, циркулирующее через установку, было равно 26 200 кг/ч. Подсосы холодного воздуха в сушилку через течку сырой стружки и фланцевое уплотнение на входе в агрегат составляли 2000 кг/ч.

**Коэффициенты регрессии для определения конечной влажности  
древесных частиц**

Коэффициенты регрессии	Значения коэффициентов для сезонов		
	зимнего	весеннее-осеннего	летнего
$a_0$	259,0739850	407,6174000	-90,3140099
$a_1$	-0,5496779	-0,8987907	0,1002105
$a_2$	-0,0672047	0	0,0589867
$a_3$	0,0165967	-0,0113401	0,0287276
$a_4$	0	-1,6474752	-0,2773579
$a_5$	-40,3246498	79,4284028	29,5994300
$a_6$	249,9056396	85,8111269	13,8594636
$a_7$	-4,0225834	0,1143256	0,3492385
$a_8$	0	0	37,9275054
$a_9$	-0,8109421	0	0
$a_{10}$	-0,0091065	-0,0552437	-0,0358359
$a_{11}$	-0,0002123	0,0008706	0,0001535
$a_{12}$	0,0003455	0	0,0000677
$a_{13}$	0,0000136	0,0000006	0,0000014
$a_{14}$	0	0,0026402	0
$a_{15}$	0	-13,3508350	-4,8901238
$a_{16}$	-19,0909671	-32,9417530	11,9422636
$a_{17}$	0	0,0000571	-0,0002410
$a_{18}$	0,0000959	-0,0000238	-0,0000526
$a_{19}$	0,0028551	0,0001502	0,0002559
$a_{20}$	-0,0618675	-0,0413657	-0,0309876
$a_{21}$	-0,1788167	-0,0203917	0,0860672
$a_{22}$	-0,0001129	0,0000010	-0,0000133
$a_{23}$	-0,0005649	-0,0001550	0,0001808
$a_{24}$	0,0478025	0	-0,0177674
$a_{25}$	-0,2788828	0,0131896	-0,0863890
$a_{26}$	-0,0003601	0,0001202	0,0000041
$a_{27}$	0,0121117	-0,0083883	0
$a_{28}$	0,0879416	-0,0088542	0
$a_{29}$	0	0	0
$a_{30}$	-0,229548	0	0
$a_{31}$	0	-21,678902	6,9610328
$a_{32}$	0,0225236	-0,0003335	-0,0025452
$a_{33}$	2,8283662	-17,377109	0
$a_{34}$	0,0204190	-0,0021842	0,0022502
$a_{35}$	0	0	0

Уравнение (3), несмотря на большое количество технологических параметров, дает возможность достаточно точно определять численные значения текущей влажности стружки, о чем свидетельствуют проведенные исследования [4]. Ошибка в серии экспериментов не превышала допустимого в деревообработке значения 5 % [2]. Современный уровень вычислительной техники позволяет достаточно быстро получать численные значения влажности стружки по уравнению (3), поэтому его упрощение представляется нецелесообразным по причине снижения точности  $Y_j$ .

Численные значения режимных управляющих параметров  $X_1 - X_6$ , обеспечивающих требуемую конечную влажность высушиваемого материала, минимальные расходы электроэнергии и природного газа, максимальную производительность оборудования, заданную температуру отработанного агента сушки, были определены в ходе многокритериальной оптимизации процесса по результатам экспериментальных исследований на действующей промышленной установке [1].

Зависимость изменения влажности древесных частиц с течением времени в зимний сезон представлена на рис. 1.

Как отмечено ранее, весенне-осенний сезон отличается значительными (от 60 до 90 %) колебаниями начальной влажности высушиваемого материала, что обусловлено не только свойствами исходного сырья, из которого получена измельченная древесина, но и климатическими условиями, характерными для этого сезона. Результаты определения закономерностей удаления влаги из древесных частиц для этого сезона приведены на рис. 2.

Летний сезон характеризуется достаточно низкой начальной влажностью высушиваемого материала и сравнительно высокой температурой окружающего барабан воздуха. На рис. 3 представлены кривые скорости сушки древесных частиц в это время года.

Кривые, отражающие изменение скорости сушки древесных частиц в различные сезоны, позволяют вычислять с достаточной для технологии точностью среднюю влажность высушиваемого материала в любой момент времени и обеспечивают необходимую конечную влажность путем определения и реализации требуемых значений управляющих воздействий. Оптимальный выбор режимных параметров  $X_1 - X_6$  минимизирует расходы природного газа для нагрева теплоносителя и электрической энергии для вращения барабана, подачи сырой стружки, работы вентиляторов.

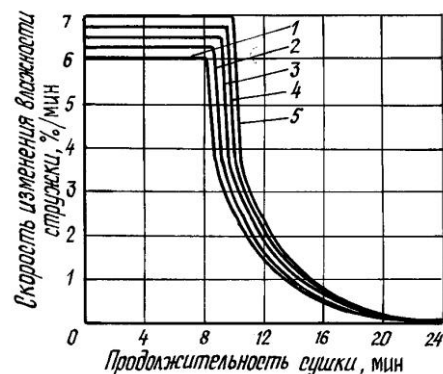


Рис. 1. Изменение влажности  $W$  древесных частиц в процессе сушки (зимний сезон): 1 –  $W = 80$  %; 2 – 85; 3 – 90; 4 – 95; 5 – 100 %

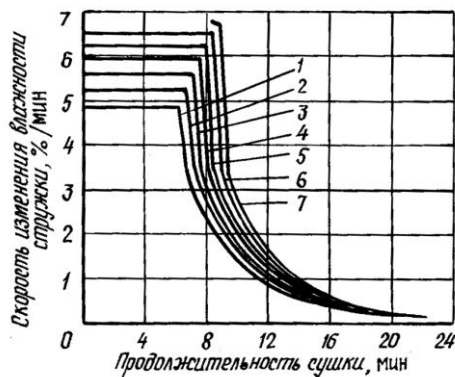


Рис. 2. Изменение влажности древесных частиц в процессе сушки (весенне-осенний сезон): 1 –  $W = 60\%$ ; 2 – 65; 3 – 70; 4 – 75; 5 – 80; 6 – 85; 7 – 90 %

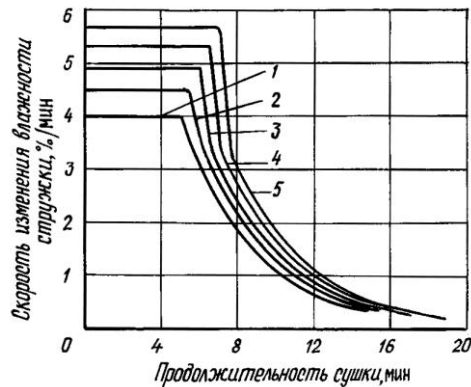


Рис. 3. Изменение влажности древесных частиц в процессе сушки (летний сезон): 1 –  $W = 50\%$ ; 2 – 55; 3 – 60; 4 – 65; 5 – 70 %

Наиболее актуально это для зимних условий работы барабана, характеризующихся чрезмерными расходами энергоносителей. Кроме того, исключается вероятность возгорания высушиваемого материала для летних условий проведения процесса сушки. Определение закономерностей сушки в агрегатах барабанного типа для различных интервалов начальной влажности древесных частиц решает проблему колебания их конечной влажности, которое чаще всего имеет место в весенне-осенний сезон.

Таким образом, результаты научно-практических исследований процесса сушки древесных частиц в прямооточных барабанах позволяют с достаточным уровнем адекватности реальной технологии осуществлять контроль и управление текущей влажностью измельченной древесины при исключении опасности ее возгорания и обеспечения заданного качества выпускаемых древесностружечных плит за счет определения и установки требуемых значений режимных параметров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровский В.С., Сафонов А.О. Статика процесса сушки древесных частиц в барабанных сушилках. – Воронеж: ВГЛТА, 2000. – 114 с.
2. Пижурин А.А., Розенбит М.С. Исследование процессов деревообработки. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.
3. Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 360 с.
4. Стерлин Д.М. Сушка в производстве фанеры и древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 384 с.
5. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. – М.: МГУЛ, 2001. – 368 с.
6. Чудинов Б.С. Вода в древесине. – Новосибирск: Наука, 1984. – 270 с.



---

7. Шубин Г.С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 248 с.

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 13.06.02

*V.S. Petrovsky, A.O. Safonov*

**Regularities Study of Water Elimination from Wood Particles in  
Streamline Rotary Driers**

Mathematical dependencies have been derived characterizing moisture content of wood particles in the process of drying in rotary driers when producing chipboards. It has been found out that taking into account the seasonal character of equipment operation when simulating technology increases the drying efficiency considerably.



УДК 630\*812

***В.Н. Курицын, Е.С. Шилохвостова***

Курицын Виктор Николаевич родился в 1931 г., окончил в 1954 г. Сибирский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесозаготовок Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 70 трудов в области теории резания древесины и технологии лесозаготовок.



Шилохвостова Елена Сергеевна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры технологии и оборудования лесозаготовок Сибирского государственного технологического университета. Имеет 1 печатную работу в области теории резания древесины.



## **ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ НА ДИНАМИКУ ПРОЦЕССА ПИЛЕНИЯ**

Высказано предположение о разрушении древесины при ее пилении не только от внешнего воздействия резца, но и от внутреннего разрыва клеток в результате сжатия содержащейся в них свободной влаги. Гипотеза «внутреннего взрыва» подтверждается экспериментальными данными о зависимости насыпной массы опилок от влажности древесины.

древесина, пиление, резец, опилки, влажность, скорость резания.

Вся внешняя энергия, затрачиваемая при пилении древесины, идет на производство следующих видов работ:

- образование поверхностей резания (дно и стенки пропила);
- различные виды деформации древесины (сжатие стружки зубом, упруго-пластическое деформирование поверхностей резания);
- трение резца о поверхности резания, опилок о дно и стенки пропила, опилок о резец;
- выбрасывание опилок из пропила.

Последний вид работ занимает весьма небольшую долю от общих затрат [3]. Практически основная энергия тратится на первые три вида. Численное соотношение между ними в каждом конкретном случае различно и зависит от вида пиления и температурно-влажностного состояния древесины.

Наши данные [4] для поперечной распиловки древесины сосны дисковой пилой представлены в табл. 1.

Имеются также данные В.А. Успенского [5, 6] о составляющих усилия резания при поперечном пилении древесины ели цепными пилами (табл. 2).

Спрогнозировать влияние скорости резания на силовые показатели пиления можно лишь при известных закономерностях в поведении деформационной и триботехнической (назовем их так) составляющих с изменением скорости.

С увеличением скорости скольжения уменьшается величина пятен контакта, а следовательно, и коэффициент трения [1]. Если же при этом еще появляются гидродинамические клинья, то значение коэффициента трения становится еще меньше.

Таблица 1

Составляющие усилия резания	Доля составляющих, %, при температуре, °С			
	+15	0	-15	-30
Усилие на лезвии	15	15	23	24
Сила деформации стружки	62	64	65	66
Силы трения	23	21	12	10
Итого	100	100	100	100

Примечание. Величина подачи на один зуб составляет 0,4 мм.

Таблица 2

Составляющие усилия резания	Доля составляющих, %, при толщине стружки, мм				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Усилие, потребное только на резание	<u>24,5</u> 47,7	<u>40,0</u> 53,9	<u>50,5</u> 53,3	<u>58,3</u> 51,1	<u>64,0</u> 48,5
Все силы трения	<u>75,5</u> 52,3	<u>60,0</u> 46,1	<u>49,5</u> 46,7	<u>41,7</u> 48,9	<u>36,0</u> 51,5

Примечание. 1. В числителе приведены данные для марки цепи ПЦУ-15, в знаменателе – ПЦП-15. 2. Под усилием, потребным только на резание, В.А. Успенский подразумевает сумму сил на лезвии и передней грани.

Известно, что при увеличении скорости резания деформационная составляющая увеличивается. В основном это объясняют явлением так называемого скоростного подпора, суть которого заключается в том, что с увеличением скорости деформации древесина становится в силу инерционности менее деформативной. Это явление хорошо известно в реологии. Такое объяснение нам кажется упрощенным. Древесина в общем случае является четырехкомпонентной системой [2], состоящей из древесного вещества с адсорбированной на его поверхности влагой, свободной влаги, воздуха и льда. Поэтому внешнему воздействию сопротивляется не только древесная основа, но и находящиеся в полостях клеток вода (лед) и воздух. Как показывают расчеты, это сопротивление весьма значительно.

Рассмотрим приближенную физическую модель сжатия одиночной древесной клетки. Для упрощения представим ее в виде полого цилиндра (длина  $l$ , внутренний диаметр  $d$ ). На поверхности этого цилиндра находятся сквозные отверстия (окаймленные поры), соединяющие внутреннюю по-

лость с окружающим пространством. Если клетка полностью наполнена влагой, при ее сжатии со скоростью  $v_1$  (скорость резания) влага будет выходить через окаймленные поры со скоростью  $v_2$ . Предположим для упрощения, что при деформации клетки в ее стенках не появляются разрушения, через которые могла бы выходить влага.

Полная деформация клетки произойдет через время  $t = d : v_1$ .

Уравнение непрерывности потока

$$\rho_1 v_1 F_1 = \rho_2 v_2 F_2 = \text{const},$$

где  $\rho$ ,  $v$ ,  $F$  – плотность жидкости, скорость течения и площадь соответствующих сечений.

Учитывая, что вода практически не сжимаема, имеем  $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ .

Непрерывность потока есть не что иное, как равенство удельных расходов массы. Поэтому можно написать

$$\frac{M}{t} = \rho v_2 F_2, \quad (1)$$

где  $M$  – масса влаги в клетке,

$$M = \frac{\pi d^2}{4} l \rho; \quad (2)$$

$F_2$  – суммарная площадь окаймленных пор, равная произведению площади одной поры  $F$  на их число  $n$ .

Таким образом,

$$\frac{\pi d^2 l \rho v_1}{4d} = \rho v_2 F_2,$$

откуда

$$v_2 = \frac{\pi d l}{4 F_2} v_1. \quad (3)$$

Окончательно

$$v_2 = \frac{\pi d l}{4 n F} v_1. \quad (4)$$

Сила, необходимая для придания потоку такой скорости, равна произведению секундного расхода массы на скорость:

$$P = \frac{M}{t} v_2. \quad (5)$$

После преобразований имеем

$$P = \left( \frac{\pi d l}{4} \right)^2 \frac{\rho v_1^2}{n F}. \quad (6)$$

Приведенные расчеты справедливы для отдельно взятой клетки, влага из которой может выжиматься во все стороны равномерно. При сжатии какого-то объема усилие будет значительно больше, причем максимум при-

дется на клетку, находящуюся в самом центре. Нами определено среднее усилие для одной клетки образца кубической формы:

$$P_{\text{cp}} = 0,54mP, \quad (7)$$

где  $m$  – число слоев клеток от центра до поверхности.

Примем по справочным данным для трахеиды сосны:  $l = 2,8 \cdot 10^{-3}$  м;  $d = 33,3 \cdot 10^{-6}$  м;  $n = 80$ ; диаметр окаймленной поры  $\approx 10^{-5}$  м.

$$\text{Площадь окаймленной поры } F = \frac{\pi}{4} \cdot 10^{-10} \text{ м}^2.$$

Подставив эти величины в формулу (6), получим  $P = 8,53 \cdot 10^{-4} v_1^2$ . При  $v_1 = 50$  м/с сила  $P = 2,13$  Н.

Расчеты показывают, что у кубического образца объемом  $1 \text{ см}^3$  число слоев  $m = 88$ . Тогда среднее усилие, определенное по формуле (7),  $P_{\text{cp}} = 101,4$  Н, что вызывает внутреннее давление на стенки клетки, равное  $344$  МПа. Это огромное давление, которое не выдерживает древесина (условный предел прочности сосны на сжатие поперек волокон  $5,2 \dots 7,6$  МПа) и, естественно, разрушается с образованием дополнительных отверстий для прохода жидкости. Мы назвали это явление «внутренним взрывом». Предложенная гипотеза хорошо подтверждается разрыхленностью опилок. Нами была проведена серия опытов по определению насыпной массы опилок, полученных при распиловке древесины различной влажности. Еловые доски толщиной  $20$  мм и средней плотностью в абсолютно сухом состоянии  $0,330 \text{ г/см}^3$  распиливали в продольном направлении дисковой пилой с величиной подачи на зуб  $0,028$  мм. Опилки высушивали до абсолютно сухого состояния, взвешивали и определяли их объем. При абсолютной влажности древесины  $7, 17, 49$  и  $74$  % плотность опилок соответственно составляла  $0,161; 0,148; 0,091$  и  $0,078 \text{ г/см}^3$ .

Следовательно, повышение влажности древесины ведет к заметному увеличению степени разрыхления опилок. Если в пределах насыщения волокна это явление можно объяснить общеизвестным фактом снижения прочности древесины, то при влажности больше точки насыщения волокна, когда прочность практически не изменяется, объяснить это можно проявлением своего рода «гидравлического удара» от сжатия свободной влаги.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. – М., 1968. – 542 с.
2. Курицын В.Н. Древесина как четырехкомпонентная система // Лесн. журн. – 1999. – № 5. – С. 69–71. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Курицын В.Н. К вопросу о динамике процесса пиления древесины // Лесоэксплуатация: Межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск, 1995. – С. 159–165.
4. Курицын В.Н. Особенности резания мерзлой древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 104 с.
5. Успенский В.А. Пильные цепи на лесозаготовках. – М., 1967. – 60 с.
6. Успенский В.А. Составляющие усилия резания при пиления пильными цепями // Лесн. журн. – 1962. – № 4. – С. 78–84. – (Изв. высш. учеб. заведений).

---

Сибирский государственный  
технологический университет

Поступила 24.04.01

*V.N. Kuritsyn, E.S. Shilokhvastova*

**Effect of Wood Humidity on Sawing Dynamics**

The presupposition is expressed related to wood damage in the sawing process resulting not only from the external influence of the cutter but internal breakdown of cells due to the compression of free moisture contained in them. Hypothesis of internal burst is confirmed by experimental data on dependence of sawdust bulk weight on wood moisture.

---

УДК 630\*812:666.974

*В.И. Харчевников, Т.Н. Стородубцева*

Харчевников Виталий Иванович родился в 1934 г., окончил в 1957 г. Воронежский инженерно-строительный институт, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и теоретической механики Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 200 печатных работ по проблеме использования композиционных материалов на основе отходов древесины.



Стородубцева Тамара Никаноровна родилась в 1955 г., окончила в 1980 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет около 30 печатных работ по проблеме использования композиционных материалов на основе отходов древесины.



### **УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ – АРМИРУЮЩЕГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО И ЦЕМЕНТНОГО СВЯЗУЮЩИХ**

Приведены результаты определения упругих характеристик древесины сосны – армирующего заполнителя композиционных материалов – и толщины оболочки, защищающей от действия воды.

древесина, композиционный материал.

Для изготовления железнодорожных шпал общего назначения и брусьев стрелочных переводов разработаны древесностекловолокнистые композиционные материалы (ДСВКМ), для шпал лесовозных узкоколейных железных дорог и блоков покрытий колеиных автомобильных дорог – древесноцементнобетонные композиционные материалы (ДЦБКМ) [1–4]. В качестве армирующих заполнителей в ДСВКМ и ДЦБКМ используют древесину в виде кусковых отходов лесоперерабатывающих производств длиной 150 ... 200 мм, низкосортные необработанные доски или их сочетание, в качестве матриц – полимерный (на фурфуролацетонной смоле ФАМ) или цементный бетон.

Расчет перечисленных выше элементов был основан на обеспечении прочности и жесткости шпал и блоков при различных видах механических нагрузок: кратковременных, длительно действующих и динамических. В этом расчете не учтено воздействие целого ряда физических факторов: тем-

пературы, усадки, набухания под действием воды и др. Вместе с тем, роль этих воздействий в нарушении монолитности структуры композиционных материалов (КМ) может оказаться первичной и определяющей, а механические нагрузки лишь ускоряют начавшийся процесс разрушения. Сложными и совершенно неизученными являются напряженное и деформированное состояния в окрестности произвольной точки объема элемента конструкции из КМ, возникающие под действием названных выше факторов.

Цель статьи – определить упругие характеристики древесины сосны (армирующего заполнителя композиционных материалов) и толщины защитной оболочки.

В качестве объекта исследований был принят малый объем древесины в виде куба, выпиленного из ствола сосны в соответствии с тремя взаимно перпендикулярными плоскостями упругой симметрии и заключенного в полимерную оболочку из стекловолоконистого КМ (СВКМ) на ФАМ. Это позволило, в виду малого объема куба, пренебречь кривизной годичных слоев и приписать древесине свойства ортогональной анизотропии, т.е. считать ее ортотропным телом, имеющим три взаимно перпендикулярных плоскости упругой симметрии: две – продольные по отношению к годичным слоям (радиальная и тангенциальная), третья – перпендикулярная к направлению волокон. Направления, нормальные к плоскостям упругой симметрии, называют главными направлениями упругости [1, 11]. Их совмещают с направлениями координатных осей, обозначая:  $a$  – вдоль волокон,  $r$  – радиальное поперек волокон,  $t$  – тангенциальное поперек волокон.

Запишем обобщенный закон Гука для главных направлений ортотропного тела:

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{\sigma_r}{E_r} - \frac{\mu_{ra}}{E_a} \sigma_a - \frac{\mu_{rt}}{E_t} \sigma_t; & \gamma_{ra} &= \frac{1}{G_{ra}} \tau_{ra}; \\ \varepsilon_a &= \frac{\sigma_a}{E_a} - \frac{\mu_{ar}}{E_r} \sigma_r - \frac{\mu_{at}}{E_t} \sigma_t; & \gamma_{at} &= \frac{1}{G_{at}} \tau_{at}; \\ \varepsilon_t &= \frac{\sigma_t}{E_t} - \frac{\mu_{tr}}{E_r} \sigma_r - \frac{\mu_{ta}}{E_a} \sigma_a; & \gamma_{tr} &= \frac{1}{G_{tr}} \tau_{tr}.\end{aligned}\quad (1)$$

В этих равенствах принято:

$\varepsilon_r$ ,  $\varepsilon_a$  и  $\varepsilon_t$  – полные относительные упругие деформации в направлении осей  $r$ ,  $a$  и  $t$ ;

$E_r$ ,  $E_a$  и  $E_t$  – модули упругости древесины в направлении тех же осей;

$G_{ra}$ ,  $G_{ta}$  и  $G_{tr}$  – модули сдвига в плоскостях  $0ar$ ,  $0ta$  и  $0tr$  (двойные индексы соответствуют направлениям осей, между которыми происходит изменение прямых углов на углы сдвига  $\gamma_{ra}$ ,  $\gamma_{at}$  и  $\gamma_{tr}$ );

$\mu_{ra}$ ,  $\mu_{ar}$ ,  $\mu_{rt}$ ,  $\mu_{tr}$ ,  $\mu_{at}$  и  $\mu_{ta}$  – коэффициенты Пуассона древесины (первые индексы указывают направление поперечной деформации, вторые – направление действия нор-



мальных напряжений  $\sigma_r$ ,  $\sigma_a$  и  $\sigma_t$  по осям  $r$ ,  $a$ ,  $t$ ;  
 $\tau_{ra}$ ,  $\tau_{at}$  и  $\tau_{tr}$  – касательные напряжения (первые индексы указывают параллельно какой оси направлено напряжение, вторые – обозначают нормаль к площадке, на которой оно действует).

К равенствам (1) добавим три соотношения, связывающие между собой постоянные упругости древесины:

$$\frac{\mu_{ra}}{E_a} = \frac{\mu_{ar}}{E_r}; \quad \frac{\mu_{tr}}{E_r} = \frac{\mu_{rt}}{E_t}; \quad \frac{\mu_{ta}}{E_a} = \frac{\mu_{at}}{E_t}. \quad (2)$$

Значения модулей упругости и коэффициентов Пуассона определены целым рядом ведущих в области древесиноведения ученых [5–9]. Однако полученные ими характеристики, внесенные в руководящие документы, не доказывают, что древесине, в частности сосне, можно приписать свойства ортогональной анизотропии.

Действительно, модули упругости имеют следующие значения: при растяжении вдоль волокон

$$E_a = (1,05 \dots 1,34) \cdot 10^4 \text{ МПа};$$

при растяжении поперек волокон

$$E_r = (0,042 \dots 0,062) \cdot 10^4 \text{ МПа} \text{ и } E_t = (0,038 \dots 0,051) \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

При сжатии эти характеристики имеют следующие значения:

$$E_a = (1,07 \dots 1,42) \cdot 10^4 \text{ МПа};$$

$$E_r = (0,051 \dots 0,077) \cdot 10^4 \text{ МПа};$$

$$E_t = (0,031 \dots 0,058) \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

Для коэффициентов Пуассона также наблюдается значительный разброс значений:  $\mu_{ra} = 0,10 \dots 0,83$ ;  $\mu_{ar} = 0,01 \dots 0,09$ ;  $\mu_{ta} = 0,11 \dots 0,67$ ;  $\mu_{at} = 0,01 \dots 0,09$ ;  $\mu_{tr} = 0,47 \dots 1,25$ ;  $\mu_{rt} = 0,10 \dots 0,90$ .

Приведенные в табл. 1 наиболее близкие соотношения постоянных упругости не позволяют считать древесину сосны ортотропным телом.

Для доказательства обратного нами были определены перечисленные выше характеристики древесины сосны, срубленной в Левобережном лесничестве г. Воронежа, и проведена соответствующая статистическая обработка результатов экспериментов (табл. 2). Число образцов в сериях составляло 25 шт.

Из приведенных в табл. 3 соотношений коэффициентов Пуассона и соответствующих модулей упругости древесины сосны (влажность  $(12 \pm 1) \%$ ) при растяжении и сжатии видно, что эти соотношения равны или близки между собой.

Таким образом, нами показано, что при выпиливании образцов в соответствии с плоскостями упругой симметрии и использовании стволов одной конкретной вырубki можно считать древесину сосны ортотропным телом и использовать полученные соотношения в соответствующем обобщенном законе Гука.



Таблица 1

Выявленные по данным научных публикаций величины соотношений постоянных упругости древесины сосны, необходимые при использовании обобщенного закона Гука

Публикация	$\mu_{ra} / E_a^p$	$\mu_{ar} / E_r^p$	$\mu_{tr} / E_r^p$	$\mu_{rt} / E_t^p$	$\mu_{ta} / E_a^p$	$\mu_{at} / E_t^p$
	$\times 1/10^4, 1/\text{МПа}$					
Н.Л. Леонтьев [5]	$\frac{0,490}{1,050} = 0,467$	$\frac{0,030}{0,042} = 0,714$	$\frac{0,790}{0,042} = 18,809$	$\frac{0,380}{0,038} = 10,000$	$\frac{0,410}{1,050} = 0,390$	$\frac{0,037}{0,038} = 0,974$
	0,467 $\neq$ 0,714		18,809 $\neq$ 10,000		0,390 $\neq$ 0,974	
А.М. Боровиков[8], Б.Н. Уголев[7]	$\frac{0,504}{1,190} = 0,424$	$\frac{0,078}{0,054} = 1,444$	$\frac{0,527}{0,054} = 9,759$	$\frac{0,306}{0,041} = 7,518$	$\frac{0,465}{1,190} = 0,391$	$\frac{0,045}{0,047} = 0,957$
	0,424 $\neq$ 1,444		9,759 $\neq$ 7,518		0,391 $\neq$ 0,957	
Е.К. Ашкенази [9]	$\frac{0,490}{1,170} = 0,419$	$\frac{0,030}{0,051} = 0,588$	$\frac{0,790}{0,051} = 15,490$	$\frac{0,380}{0,043} = 8,837$	$\frac{0,410}{1,170} = 0,350$	$\frac{0,037}{0,043} = 0,860$
	0,419 $\neq$ 0,588		15,490 $\neq$ 8,837		0,350 $\neq$ 0,860	
Средние значения по данным [5–9]	$\frac{0,470}{1,200} = 0,392$	$\frac{0,050}{0,052} = 0,962$	$\frac{0,860}{0,052} = 16,538$	$\frac{0,500}{0,038} = 13,158$	$\frac{0,110}{1,200} = 0,092$	$\frac{0,010}{0,045} = 0,222$
	0,392 $\neq$ 0,962		16,538 $\neq$ 13,158		0,092 $\neq$ 0,222	



Таблица 2

## Характеристики упругости древесины сосны (влажность (12±1) %)

Характеристика	$\bar{X} = \frac{\sum V_i}{n}$	$\sigma = \pm \sqrt{\frac{X^2}{n-1}}$	$\sigma_{\bar{X}} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$V_{\sigma} = \pm \frac{100\sigma}{\bar{X}}$	$P = \pm \frac{100\sigma_{\bar{X}}}{\bar{X}}$
$E_a^p \cdot 10^{-4}$ , МПа	1,00	0,0724	0,0145	7,24	1,45
$E_r^p \cdot 10^{-4}$ , МПа	0,06	0,0127	0,0025	21,17	4,23
$E_t^p \cdot 10^{-4}$ , МПа	0,05	0,0074	0,0015	14,51	2,94
$E_a^{\bar{n}\bar{a}e} \cdot 10^{-4}$ , МПа	1,20	0,0920	0,0180	7,67	1,50
$E_r^{\bar{n}\bar{a}e} \cdot 10^{-4}$ , МПа	0,07	0,0099	0,0020	14,14	2,83
$E_t^{\bar{n}\bar{a}e} \cdot 10^{-4}$ , МПа	0,06	0,0067	0,0013	11,17	2,23
$\mu_{ra}$	0,50	0,0690	0,0138	13,80	2,76
$\mu_{ar}$	0,03	0,0060	0,0012	20,00	4,00
$\mu_{ta}$	0,59	0,0980	0,0196	16,61	3,32
$\mu_{at}$	0,03	0,0056	0,0011	18,67	3,67
$\mu_{tr}$	0,53	0,0420	0,0084	7,92	1,58
$\mu_{rt}$	0,45	0,0343	0,0069	7,62	1,53

Таблица 3

Напряженное состояние	$\mu_{ra} / E_a^p$	$\mu_{ar} / E_r^p$	$\mu_{tr} / E_r^p$	$\mu_{rt} / E_t^p$	$\mu_{ta} / E_a^p$	$\mu_{at} / E_t^p$
	$\times 1 / 10^{-4}$ , 1 / МПа					
Растяжение	$\frac{0,50}{1,00} = 0,50$	$\frac{0,03}{0,06} = 0,50$	$\frac{0,53}{0,06} = 8,83$	$\frac{0,45}{0,05} = 8,82$	$\frac{0,59}{1,00} = 0,59$	$\frac{0,03}{0,05} = 0,59$
	0,50 = 0,50		8,83 ≈ 8,82		0,59 = 0,59	
	Принимаем 0,50		Принимаем 8,82		Принимаем 0,59	
Сжатие	$\frac{0,50}{1,20} = 0,42$	$\frac{0,03}{0,07} = 0,43$	$\frac{0,53}{0,07} = 7,57$	$\frac{0,45}{0,06} = 7,50$	$\frac{0,59}{1,20} = 0,49$	$\frac{0,03}{0,06} = 0,50$
	0,42 ≈ 0,43		7,57 ≈ 7,50		0,49 ≈ 0,50	
	Принимаем 0,42		Принимаем 7,54		Принимаем 0,50	

Значения модулей сдвига древесины сосны определяли выборочно по ГОСТ 16483.30–73. Судя по научным публикациям, они достаточно стабильны:  $G_{ra} = 0,114 \cdot 10^4$  МПа,  $G_{tr} = 0,005 \cdot 10^4$  МПа,  $G_{ta} = 0,07 \cdot 10^4$  МПа.

Следует отметить, что материал оболочки – полимерный раствор ФАМ, армированный во всех плоскостях тремя слоями стеклоткати СВКМ, принят условно изотропным [10].

Предложенный подход позволил выявить возможные причины возникновения трещин на поверхности, например, железнодорожных шпал из ДСВКМ и пути их устранения.

Используя данные табл. 3, формулу (1) и численные значения соотношений (для древесины – д)  $1/E_{\text{д}}^{\text{др}} = 1/0,06 \cdot 10^4 = 16,66/10^4$ ;  $1/E_{\text{д}}^{\text{да}} = 1/10^4$  и  $1/E_{\text{д}}^{\text{дт}} = 1/0,05 \cdot 10^4 = 19,61/10^4$ , а также считая, что все главные напряжения положительны, получили рабочую систему уравнений обобщенного закона Гука для ортотропного материала – древесины сосны:

$$\begin{cases} 16,66\sigma_r - 0,50\sigma_a - 8,82\sigma_t = \varepsilon_r \cdot 10^4; \\ -0,50\sigma_r + 1,00\sigma_a - 0,59\sigma_t = \varepsilon_a \cdot 10^4; \\ -8,82\sigma_r - 0,59\sigma_a + 19,61\sigma_t = \varepsilon_t \cdot 10^4. \end{cases} \quad (3)$$

Значения главных напряжений  $\sigma_r$ ,  $\sigma_a$  и  $\sigma_t$  при известных  $\varepsilon_r$ ,  $\varepsilon_a$  и  $\varepsilon_t$  (или наоборот) могут быть получены в результате решения системы этих уравнений с использованием определителей и ЭВМ.

Применим формулу (3) для нахождения нормальных напряжений по направлению нормалей  $a$ ,  $r$  и  $t$  с целью определить теоретическую толщину  $\delta$  полимерной оболочки из СВКМ. Будем считать, что относительные удлинения ее ребер под действием нормальных напряжений, возникающих в образце под действием различных физических факторов, не должны превышать предельного растяжения отвержденной полимерной мастики, равного 0,0006 (т.е.  $\varepsilon_r = \varepsilon_a = \varepsilon_t = 0,0006$ ).

Найдем определители системы (3):

$$\Delta = 233,30; \quad \Delta_{\sigma_r^{\text{др}}} = 260,32; \quad \Delta_{\sigma_a^{\text{да}}} = 1724,42; \quad \Delta_{\sigma_t^{\text{дт}}} = 238,59.$$

Следовательно, напряжения

$$\sigma_a^{\text{др}} = \Delta_{\sigma_r^{\text{др}}} / \Delta = 260,32 / 233,30 \approx 1,12 \text{ МПа};$$

$$\sigma_a^{\text{да}} = \Delta_{\sigma_a^{\text{да}}} / \Delta = 1724,42 / 233,30 \approx 7,40 \text{ МПа} \quad (\text{опасное напряжение});$$

$$\sigma_a^{\text{дт}} = \Delta_{\sigma_t^{\text{дт}}} / \Delta = 238,59 / 233,30 \approx 1,02 \text{ МПа}.$$

Если принять, что внутреннее усилие в деревянном образце равно усилию, растягивающему полимерную оболочку (п.о) по направлению нормали  $a$ , то получим  $P_a^{\text{да}} = P_{i.i}^{\text{да}}$ . Перейдем от усилий к напряжениям:

$$P_a^{\text{да}} = \sigma_a^{\text{да}} b_1^2 = P_{i.i}^{\text{да}} = \sigma_{i.i}^{\text{да}} A_{i.i}^{\text{дд}}, \text{ т.е. } \sigma_a^{\text{да}} b_1^2 = \sigma_{i.i}^{\text{да}} A_{i.i}^{\text{дд}},$$

где  $b_1$  – длина ребра куба,  $b_1 = 4,5$  см;

$\sigma_{i.i}^{\text{дд}}$  – предел прочности при растяжении оболочки из СВКМ;

$A_{i,i}^{\delta}$  – площадь отрыва полимерной оболочки,  $A_{i,i}^{\delta} = 4\delta(b_1 + \delta)$ .

Подставляя в уравнение равновесия (4) выражение для  $A_{i,i}^{\delta}$  и решая квадратное уравнение

$$\delta^2 + b_1\delta - \sigma_{i,i}^{pa} b_1^2 / 4\sigma_{i,i}^{pa} = 0,$$

находим

$$\delta = \frac{b_1}{2} \left[ \left( \sqrt{1 + \sigma_{i,i}^{pa} / \sigma_{i,i}^{pa}} \right) - 1 \right] = \frac{4,5}{2} \left[ \sqrt{1 + 7,4/5,3} - 1 \right] = 1,24 \text{ м}. \quad (4)$$

Здесь  $\sigma_{i,i}^{\delta} = 5,3$  МПа.

В дальнейших теоретических расчетах и экспериментальных исследованиях принимали  $\delta = 1,25$  см. Это значение затем было уточнено на основании эксплуатационных факторов. Например, если вместо предела прочности СВКМ будем использовать расчетное сопротивление отвержденного полимерного раствора ФАМ при растяжении  $R_{i,\delta}^{\delta} = 3,75$  МПа [11] с учетом, что трещинообразование может начаться именно в полимерной оболочке, то получим реальную толщину защитной оболочки ДСВКМ и ДЦБКМ для шпал и блоков покрытий лесовозных железных дорог и колеечных автомобильных дорог:

$$\delta = \frac{b_1}{2} \left[ \left( \sqrt{1 + \sigma_{i,i}^{\delta} / R_{i,\delta}^{\delta} K_{ст}} \right) - 1 \right] = \frac{4,5}{2} \left[ \sqrt{1 + 7,4/3,75 \cdot 0,48} - 1 \right] = 2,25 \left[ \sqrt{1 + 9,26} - 1 \right] \approx 3,0 \text{ м}. \quad (5)$$

Здесь  $K_{ст}$  – коэффициент стойкости полимерной оболочки в воде,  $K_{ст} = 0,48$ .

Шпалы из ДСВКМ и блоки лесовозных автодорог из ДЦБКМ, в технологии отливки которых использованы результаты наших исследований, прошли стендовые и эксплуатационные испытания и рекомендованы для внедрения на объектах лесного комплекса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 224 с.
2. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине / Под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 236 с.
3. Зобов С.Ю. Древесностекловолокнистый композиционный материал с заданными свойствами для шпал различного назначения: Автореф. дис ... канд. техн. наук. – Воронеж, 1997. – 23 с.
4. Леонтьев Н.Л. Упругие деформации древесины. – Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 120 с.
5. Перельгин Л.М. Древесиноведение. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 316 с.
6. Плужникова О.П. Составы и технология древесностекловолокнистого полимербетона на фурфуролацетоновой смоле ФАМ для железнодорожных шпал: Автореф. дис ... канд. техн. наук. – Воронеж, 1994. – 21 с.
7. Стородубцева Т.Н. Обеспечение трещиностойкости композиционного материала на основе древесины для железнодорожных шпал при отверждении и

всестороннем увлажнении: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 1999. – 20 с.

8. *Стородубцева Т.Н.* Определение толщины слоя полимерного раствора, защищающего древесный армирующий наполнитель композиционного материала от воздействия воды // Сб. науч. тр. / ВГЛТА. – Воронеж, 1998. – С. 222–225.

9. *Уголев Б.Н.* Древесиноведение с основами лесного товароведения. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 368 с.

10. *Харчевников В.И., Бондарев Б.А.* Композиционные материалы для шпал лесовозных и общего назначения железных дорог / Под ред. Харчевникова В.И. – Липецк: ЛГТУ, 1996. – 256 с.

11. *Харчевников В.И.* Стекловолокнистые полимербетоны – коррозионно-стойкие материалы для конструкций химических производств: Дис. ... д-ра техн. наук. – Воронеж, 1982. – 424 с.

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 11.04.01

*V.I. Kharchevnikov, T.N. Storodubtseva*

### **Elastic Characteristics of Pine Wood – Reinforcing Aggregate of Composite Materials on Base of Plastic and Concrete Binders**

The outcomes of determining elastic characteristics of pine wood - reinforcing aggregate of composite materials – and thickness of tunic protecting from water are given.

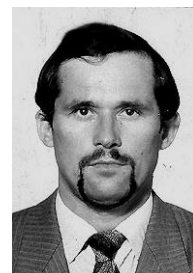




УДК 674.048

**Ю.А. Варфоломеев, Л.А. Баданина**

Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 300 научных трудов в области обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами.



Баданина Лариса Александровна родилась в 1968 г., окончила в 1991 г. Ленинградский государственный университет, старший преподаватель кафедры высшей математики Архангельского государственного технического университета. Имеет 6 печатных работ в области математического моделирования процесса консервации древесины.



### **ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ НА РАСЧЕТ ЕЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ**

Для учета цилиндрической анизотропии древесины при определении фильтрации воздуха на основании закона Дарси разработаны математические модели в декартовых и полярных координатах. Установлено, что расчет проницаемости древесины хорошо пропитываемых пород (береза, осина) более точен в полярных координатах.

древесина, анизотропия, фильтрация, вакуумирование, декартовы и полярные координаты.

На первой стадии автоклавной пропитки древесины защитными препаратами по схеме вакуум–давление–вакуум создают разряжение величиной 0,05 ... 0,07 МПа [3] для освобождения полостей трахеид от воздуха. От эффективности выполнения такой важной технологической операции, как вакуумирование, во многом зависит скорость и качество пропитки изделий из древесины. Чаще всего исследования по влиянию вакуумирования на пропитку – это дорогостоящие и длительные испытания в лабораторных или производственных условиях [3].

При изучении проницаемости древесины жидкостями или газами многие исследователи [2, 4, 6] исходили из допущения, что древесина состоит из параллельных годичных слоев. Однако известно, что ей присуща цилиндрическая анизотропия свойств, обусловленная кольцевым строением, наличием ранних и поздних годичных слоев. Учет особенностей строения древесины при расчетах ее фильтрации необходим для получения точных результатов.

Цель настоящей работы – исследовать фильтрацию воздуха поперек волокон в радиальном направлении в деревянных элементах цилиндрической формы.

Теоретические исследования влияния кривизны годичных колец на фильтрацию воздуха в изделиях из древесины цилиндрической формы проводили, решая задачу с построением математической модели сначала в прямоугольных, а затем в цилиндрических координатах. В первом случае исходили из допущения, что при больших диаметрах ствола годичные слои параллельны (рис. 1, а). Во втором случае считали годичные кольца круговыми (рис. 1, б).

Рассмотрим технологическую операцию предварительного вакуумирования древесины [3]. Откачивая воздух, уменьшают его давление в герметичной автоклавной камере от 0,10 до 0,05 ... 0,07 МПа. Поскольку в начальный момент времени внутри образца воздух находится при атмосферном давлении, а на его поверхности – при меньшем, то происходит движение воздуха от внутренних слоев образца

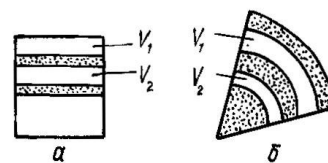


Рис. 1. Расположение слоев капиллярно-пористого тела: а – параллельные слои; б – кольцевидные слои, имеющие кривизну

к внешним. Необходимо описать движение воздуха в древесине при помощи уравнения фильтрации в капиллярно-пористом теле. Решением является функция давления  $P(x, t)$ , которая показывает величину давления воздуха на глубине (расстояние от поверхности образца)  $x$  в момент времени  $t$ .

Введем обозначения:  $P_{вн}$  – давление воздуха вне образца;  $P_0$  – начальное давление воздуха внутри образца;  $\rho_0$  – начальная плотность воздуха;  $k_{ф.в}$  – коэффициент фильтрации (воздухопроницаемость) воздуха;  $\mu_0$  – коэффициент пористости;  $a$  – радиус ствола.

#### Решение в прямоугольных координатах

Рассмотрим элементарный объем древесины, вырезанный перпендикулярно стволу, в системе прямоугольных координат  $(x, y)$  с центром на краю образца. Ось  $Ox$  направим поперек волокон (рис. 2). Поскольку в данном случае нас интересует только движение воздуха в поперечном направлении, то рассмотрим одномерную задачу фильтрации по координате  $x$ .

Согласно закону Дарси, одномерное уравнение фильтрации воздуха в древесном образце в прямоугольных координатах имеет вид

$$k \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (1)$$

где

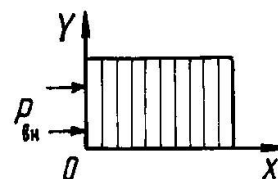


Рис. 2. Расположение декартовых координат относительно образца

$$k = \frac{k_{\text{д.а}} P_0}{\mu_0 \rho_0} . \quad (2)$$

Требуется найти функцию  $P(x, t)$  – удовлетворяющую уравнению (1). Сформулируем начально-краевые условия для искомой функции.

В автоклавной камере (с загруженными изделиями из древесины) создается вакуум 0,05 МПа. Поэтому считаем, что на поверхности образца при  $x = 0$  воздушное давление поддерживается постоянным ( $P_{\text{вн}} = 0,05$  МПа), т. е.

$$P(0, t) = P_{\text{вн}}; 0 < t < \infty. \quad (3)$$

На начальной стадии операции вакуумирования при  $t = 0$  воздух находится при атмосферном давлении ( $P_0 = 0,1$  МПа), т. е.

$$P(x, 0) = P_0; 0 < t < a. \quad (4)$$

Для удобства решения необходимо, чтобы граничное условие (3) было нулевым. Для этого вводится новая функция

$$P_1(x, t) = P(x, t) - P_{\text{вн}}. \quad (5)$$

При этом уравнение (1) не изменится, а условия (3), (4) примут следующий вид:

$$P_1(0, t) = 0; \quad (6)$$

$$P_1(x, 0) = P_0 - P_{\text{вн}}. \quad (7)$$

Согласно [7], решение  $P_1(x, t)$  будем искать в виде произведения двух функций  $X(x)$  и  $T(t)$ :

$$P_1(x, t) = X(x)T(t). \quad (8)$$

Подставив (8) в уравнение (1) и разделив переменные, получим

$$k \frac{X''(x)}{X(x)} = \frac{T'(t)}{T(t)}. \quad (9)$$

При разделении переменных левая и правая части постоянны. Приравняв их к постоянной  $\alpha$ , получим два дифференциальных уравнения:

$$k \frac{X''(x)}{X(x)} = -\alpha; \quad \frac{T'(t)}{T(t)} = -\alpha ,$$

решения которых имеют вид

$$X(x) = \tilde{C}_1 \cos\left(\sqrt{\frac{\alpha}{k}}x\right) + \tilde{C}_2 \sin\left(\sqrt{\frac{\alpha}{k}}x\right); \quad T(t) = Ce^{-\alpha t} .$$

Таким образом, получено одно из решений

$$P_1(x, t) = C_1 e^{-\alpha t} \cos\left(\sqrt{\frac{\alpha}{k}} x\right) + C_2 e^{-\alpha t} \sin\left(\sqrt{\frac{\alpha}{k}} x\right). \quad (10)$$

Используя (6), найдем постоянную  $C_1 = 0$ . Проинтегрировав (10) по  $\alpha$  от 0 до  $+\infty$ , получим общее решение

$$P_1(x, t) = \int_0^{\infty} C_2(\alpha) \sin\left(\sqrt{\frac{\alpha}{k}} x\right) \exp(-t\alpha) d\alpha, \quad (11)$$

где  $C_2(\alpha)$  находим из условия (7), разлагая правую часть в интеграл Фурье по синусам:

$$P_0 - P_{\text{аі}} = \frac{P_0 - P_{\text{аі}}}{\pi \sqrt{\alpha/k}} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \sin\left(\sqrt{\frac{\alpha}{k}} y\right) dy \sin\left(\sqrt{\frac{\alpha}{k}} x\right) d\alpha. \quad (12)$$

Таким образом,

$$C_2(\alpha) = \frac{P_0 - P_{\text{аі}}}{\pi \sqrt{\alpha/k}} \int_0^{\infty} \sin\left(\sqrt{\frac{\alpha}{k}} y\right) dy. \quad (13)$$

Следовательно,

$$P_1(x, t) = \frac{P_0 - P_{\text{аі}}}{\pi} \int_0^{\infty} \left( \frac{1}{\sqrt{\alpha/k}} \int_0^{\infty} \sin\left(\sqrt{\frac{\alpha}{k}} y\right) dy \right) \sin\left(\sqrt{\frac{\alpha}{k}} x\right) \exp(-t\alpha) d\alpha. \quad (14)$$

После вычисления двойного интеграла (14), используя функцию «ошибок»  $\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-z^2) dz$ , получим решение уравнения (1), удовлетворяющее начально-краевым условиям (6) и (7):

$$P_1(x, t) = P_0 - P_{\text{аі}} \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{tk}}\right). \quad (15)$$

Учитывая (6) и (15), имеем окончательное решение уравнения (1), удовлетворяющее условиям (3) и (4):

$$P(x, t) = P_{\text{аі}} + P_0 - P_{\text{аі}} \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{tk}}\right). \quad (16)$$

Таким образом, установлена зависимость давления воздуха на глубине  $x$  в момент времени  $t$  без учета кривизны годичных слоев.

#### Решение в полярных координатах

Рассмотрим поперечное сечение ствола в системе полярных координат, поместив полюс в центр круга (рис. 3). Из-за симметрии предложенной задачи внутреннее давление воздуха не зависит от угла  $\varphi$ . Аналогично предыдущему решению рассмотрим одномерный случай.

Уравнение фильтрации [5] для одномерной задачи в полярных координатах ( $r, \varphi$ ) имеет вид

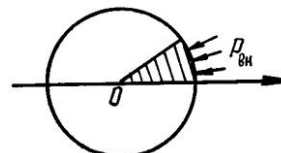


Рис. 3. Расположение полярных координат относительно образца

$$\frac{k}{r} \left( \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial P}{\partial r} \right) \right) = \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (17)$$

где  $k$  – то же, что и в (2);

$P(r, t)$  – давление воздуха на расстоянии  $r$  от центра в момент времени  $t$ .

Требуется найти функцию  $P(r, t)$ . При этом начально-краевые условия останутся такими же, как и в случае прямоугольных координат: в начальный момент времени  $t = 0$  внутри образца воздух находится при атмосферном давлении, т.е.

$$P(r, 0) = P_0; \quad 0 \leq r < a. \quad (18)$$

На границе  $r = a$  в любой момент времени давление равно  $P_{\text{вн}}$ :

$$P(a, t) = P_{\text{вн}}. \quad (19)$$

Аналогично (5) вводится новая функция

$$P_2(r, t) = P(r, t) - P_{\text{вн}}, \quad (20)$$

которая удовлетворяет уравнению (17) и условиям

$$P_2(r, 0) = -P_{\text{вн}}; \quad (21)$$

$$P_2(a, t) = 0. \quad (22)$$

Решение уравнения (17) находится в виде

$$P_2(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \exp\left(-\frac{kt(\gamma_n)^2}{a^2}\right) J_0\left(\frac{r\gamma_n}{a}\right), \quad (23)$$

где  $J_0$  – функция Бесселя нулевого порядка;

$\gamma_n$  – нули функции  $J_0$ .

Какими бы ни были постоянные  $C_n$ , выражение (23) при  $t > 0$  удовлетворяет уравнению (17) и условию (22). Подставляя (23) в (21) и разлагая правую часть выражения (21) в ряд по функциям Бесселя, находим постоянные  $C_n$ :

$$C_n = \frac{2(P_0 - P_{\text{вн}})}{\gamma_n J_1(\gamma_n)}. \quad (24)$$

Таким образом, получено решение

$$P(r, t) = P_{\text{вн}} + 2(P_0 - P_{\text{вн}}) \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-kt\left(\frac{\gamma_n}{a}\right)^2\right) \frac{J_0\left(\frac{r\gamma_n}{a}\right)}{\gamma_n J_1(\gamma_n)}. \quad (25)$$

Для сравнения решений (16) и (25) сделаем в (25) замену переменной  $r = a - x$  ( $x$  – расстояние от поверхности круглого образца). Тогда новое решение будет иметь следующий вид:

$$P(x, t) = P_{\text{вн}} + 2(P_0 - P_{\text{вн}}) \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-kt\left(\frac{\gamma_n}{a}\right)^2\right) \frac{J_0\left(\frac{(a-x)\gamma_n}{a}\right)}{\gamma_n J_1(\gamma_n)}. \quad (26)$$

При типовом режиме автоклавной пропитки древесины операция вакуумирования продолжается 20 ... 25 мин. С учетом этого, построим эпюры давлений при значении времени 20 мин. Примем следующие значения постоянных [1]:  $a = 13$  см,  $\rho_0 = 0,00129$  г/см<sup>3</sup>,  $\mu = 0,6$ .

На рис. 4 показаны результаты решения задачи в декартовых и полярных координатах при одинаковых значениях постоянных.

В расчетах использован коэффициент воздухопроницаемости для древесины ели, относящейся к трудно пропитываемым породам [1]:

$$k_{\delta,a} = 1 \cdot 10^{-4} \frac{\bar{a}}{\bar{m} \cdot \bar{\mu} \cdot \bar{P}_a}$$

Результаты (рис. 4, а) свидетельствуют о том, что оба решения практически совпадают. Например, при расчетах в декартовых координатах через 20 мин давление достигает 0,08 МПа на глубине 1,91 см, в полярных координатах – на 2,05 см (разница составляет 7 %).

Затем был рассмотрен вариант обработки древесины легко пропитываемых пород, коэффициент воздухопроницаемости которых в 8 раз больше

$$\text{предыдущего: } k_{\delta,a} = 8 \cdot 10^{-4} \frac{\bar{a}}{\bar{m} \cdot \bar{\mu} \cdot \bar{P}_a}$$

Из приведенных на рис. 4, б графиков видно, что решения в декартовых и полярных координатах значительно отличаются. При расчетах в декартовых координатах через 20 мин давление достигает 0,07 МПа на глубине 3,37 см, а в полярных координатах – на глубине 4,73 см (разница составляет 29 %).

Расхождение результатов можно объяснить именно тем, что при решении в полярных координатах учитывается цилиндрическое строение древесины и кривизна годичных слоев.

При течении жидкости или газа через древесину и хорошей фильтрации в направлении от внешних слоев к внутренним объемы слоев  $V_i$  ( $i = 1, 2 \dots$ ) уменьшаются (см. рис. 1), поскольку уменьшается радиус ствола. Жидкость (или газ) должна «перераспределиться», из-за чего уменьшается скорость пропитки. При фильтрации через пористое тело с такими же характеристиками, но имеющее параллельные слои, жидкость полойно перемещается, занимая все тот же объем  $V$ .

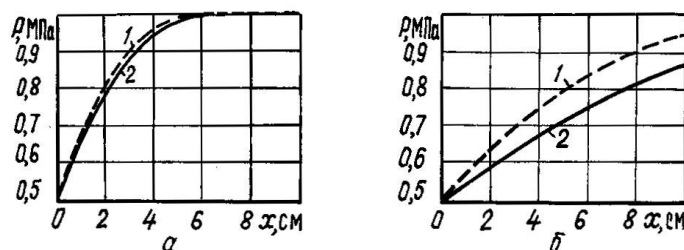


Рис. 4. Распределения давления воздуха в образце в радиальном направлении через 20 мин вакуумирования:

$$a - k_{\delta,a} = 1 \cdot 10^{-4} \frac{\bar{a}}{\bar{m} \cdot \bar{\mu} \cdot \bar{P}_a}; \quad б - k_{\delta,a} = 8 \cdot 10^{-4} \frac{\bar{a}}{\bar{m} \cdot \bar{\mu} \cdot \bar{P}_a};$$

1 – решение в декартовых координатах; 2 – в полярных

*Выводы*

1. На основании закона Дарси разработаны математические модели фильтрации воздуха в древесине при расчете в декартовых и полярных координатах. Расчеты в полярных координатах позволяют более точно учесть цилиндрическую анизотропию строения и свойств древесины.

2. Для получения более точной картины проницаемости древесины легко пропитываемых пород (береза, осина) более корректно все расчеты производить в полярных координатах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боровиков А.М., Уголев Б.Н.* Справочник по древесине / Под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 293 с.
2. *Калниньш А.Я.* Консервирование и защита лесоматериалов: Справочник. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 424 с.
3. Новый отечественный завод для автоклавной пропитки древесины / Ю.А. Варфоломеев, Д.В. Агапов, В.И. Федотов, А.П. Хизов // *Деревообаб. пром-сть.* – 2001. – № 2. – С. 7–9.
4. *Оснач Н.А.* Проницаемость и проводимость древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 184 с.
5. *Прусов И.А.* Двумерные краевые задачи фильтрации. – Минск: Университетское изд-во, 1987. – 181 с.
6. *Серговский П.С., Расев А.И.* Гидродинамическая обработка и консервирование древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 359 с.
7. *Тихонов А.Н., Самарский А.А.* Уравнения математической физики: Учебное пособие для университетов. – 4-е изд., испр. – М.: Наука, 1972. – 735 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 01.10.02

*Yu.A. Varfolomeev, L.A. Badanina*

**Influence of Wood Structure and Properties' Anisotropy  
on its Air Permeability Calculation**

Mathematical models in Cartesian and polar coordinates have been developed for registration of cylinder wood anisotropy when determining air filtration based on Darcy law. It has been found out that calculation of wood permeability of tree species that easily undergo impregnation (birch, aspen) is more accurate in polar coordinates.

**ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**

УДК 634.0.861.16

***К.Г. Боголицын, Н.Р. Попова, Т.Э. Скребец, А.Е. Кошелева***

Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета, директор Научно-исследовательского института химии и химической технологии при АГТУ, академик МАНЭБ и РА-ИН, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 250 научных трудов в области разработки физико-химических основ процессов переработки древесины.



Попова Наталья Радиевна родилась в 1957 г., окончила в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет около 30 научных работ в области химии координационных соединений.



Скребец Татьяна Эдуардовна родилась в 1955 г., окончила в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 научных работ в области химии древесины и ее компонентов.

**ДЕЛИГНИФИКАЦИЯ ДРЕВЕСИНЫ, КАТАЛИЗИРУЕМАЯ СОЕДИНЕНИЯМИ МЕТАЛЛОВ ПЕРЕМЕННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ\***

Дан аналитический обзор работ за последние 10–15 лет, проводимых в области использования катализа металлами переменной валентности при делигнификации в процессах варки и отбелки целлюлозы из древесины.

древесина, делигнификация, варка, отбелка, катализ, металлы переменной валентности, комплексные соединения.

\* Публикация подготовлена в рамках выполнения Государственного контракта №43.044.1 1.2626 от 31 января 2002 г., финансируемого Минпромнауки РФ.



Современные тенденции развития химико-лесного комплекса направлены на разработку и реализацию экологически безопасных технологий комплексной переработки древесины с целью получить качественные волокнистые полуфабрикаты, бумагу, картон и ценные побочные продукты. При этом наблюдается заметный разрыв между прикладными работами в области оптимизации и модификации классических технологических процессов, теоретические основы которых начали создаваться еще в XIX веке и к настоящему моменту достаточно глубоко изучены, и принципиально новыми технологиями переработки растительного сырья. Для последних практически отсутствует теоретическая база, которая позволила бы сознательно и обоснованно определять выбор реагентов и условий воздействия на древесное сырье.

Давая подобную оценку уровню фундаментальных исследований в области химической технологии древесины, мы основываемся на анализе результатов работ, представленных в докладах на международных форумах в последние 10–15 лет: European Workshop on Lignocellulosics and Pulp, International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, PapFor.

Вместе с тем фундамент для успешного решения задач совершенствования существующих и разработки принципиально новых технологий химической переработки древесины есть. По нашему мнению, он заключается в использовании для раскрытия основных закономерностей химических превращений компонентов древесины подходов классической химии, в частности физической и органической химии полимеров [1].

Так, ранее [38, 49, 50] нами было установлено, что древесную матрицу необходимо рассматривать с позиций формирования и существования микрогетерогенной композиции биополимеров, основными компонентами которой являются лигнин, целлюлоза и гемицеллюлозы. При этом состояние ее описывается конкретными значениями термодинамических параметров, характеризующих степень устойчивости системы. Впервые установлены области термодинамической совместимости и существование твердых растворов в системах лигнин – гемицеллюлозы и гемицеллюлозы – целлюлоза и полное отсутствие таковых в системе целлюлоза – лигнин.

Таким образом, лигноуглеводная матрица является суперпозицией взаимопроникающих сеток, образованных водородными, углерод-углеродными, эфирными связями лигнина и лигноуглеводными связями. Термодинамически несовместимые целлюлоза и лигнин образуют микрогетерогенные области, окруженные гелем гемицеллюлоз. Гемицеллюлозы при этом играют роль совместителей за счет образования переходного слоя на поверхности элементарных фибрилл целлюлозы и наличия ограниченной термодинамической совместимости с лигнином. Дополнительную прочность композиции придают механические зацепления сегментов макромолекул лигнина и гемицеллюлоз как между собой, так и с целлюлозой.

Подобный нетрадиционный подход в рассмотрении лигноуглеводной матрицы как объекта химических воздействий в технологиях химической переработки растительного сырья позволяет нам предложить новые

подходы к созданию современных способов делигнификации, а именно – направленное физическое или химическое воздействие на лигноуглеводный комплекс, которое приводило бы к изменению областей термодинамической совместимости его компонентов. Это может быть использование различных по химической природе реагентов, действие которых приводит к изменению функциональных свойств лигнинных и углеводных компонентов; проведение процессов в водно-органических средах; преимущественная активизация определенного типа химических реакций в ходе технологических процессов [2].

Органосольвентные способы производства целлюлозы, основанные на использовании органических растворителей, признаны наиболее перспективными как с экологической, так и с экономической точки зрения. Данные способы производства позволяют отказаться от использования серосодержащих варочных растворов, уменьшить продолжительность варочного процесса, значительно снизить водопотребление, создать замкнутый цикл использования варочных реагентов благодаря несложной схеме регенерации органических растворителей из отработанных щелоков. В результате таких варок можно получить целлюлозу, не уступающую по прочности сульфатной [39].

В качестве среды для проведения таких процессов используют различные протолитические и апротонные органические растворители, а также их смеси с водой; в качестве окислителя – молекулярный кислород, озон и т.д. Совершенствование органосольвентных технологий тесно связано с выработкой строго научного подхода к выбору состава растворителя и, следовательно, с выявлением механизмов процессов, происходящих при взаимодействии лигнинов с различными средами. Известно [29], что растворитель посредством специфической и неспецифической сольватации различных структурных фрагментов макромолекулы лигнина может оказывать значительное влияние на реакционные и макромолекулярные свойства полимера, а следовательно, в соответствии с рассмотренными выше теоретическими представлениями, и на термодинамическое состояние лигноуглеводной матрицы. Выполненные исследования по изучению физико-химических свойств лигнинных полимеров в среде органических растворителей позволили определить протолитические и термодинамические параметры, характеризующие макромолекулярные свойства препарата и качество растворителя и установить факт существенного влияния растворителя на кинетику и реакционную способность фенольных соединений за счет донорно-акцепторных взаимодействий и стерических факторов [48].

Анализ окислительно-восстановительных свойств природного лигнина, его аналогов и измерение этих характеристик в технологических процессах с использованием метода оксредметрии позволили предложить концепцию осуществления химических превращений компонентов древесины при делигнификации с позиций реализации окислительно-восстановительных взаимодействий [2, 43].

Известно, что для окислительно-восстановительных процессов характерна зависимость кинетических параметров от величины окислительного потенциала (ОП) [30]. Системы с высоким ОП обладают сильными окислительными свойствами и имеют донорные, а не акцепторные свойства по отношению к электрону. Поскольку лигнин состоит из целого ряда различных фрагментов фенольного и хинонного типов, то скорость его окисления-восстановления будет также зависеть от величины ОП.

Следовательно, направленное химическое воздействие на соотношение оксред-форм в лигнинном полимере путем использования селективных катализаторов окислительных превращений лигнинных компонентов будет с позиций теории термодинамической совместимости компонентов древесины интенсифицировать процессы делигнификации, повышая ее избирательность.

Данная концепция позволяет обосновать применение для активации химических процессов при делигнификации древесины в водной и водно-органической средах различных катализаторов: минеральных [17] и органических [24, 25, 28, 52] кислот, побочных продуктов химической переработки древесины [31].

Особенно активно поиск каталитических систем процессов делигнификации древесины начался с 70-х годов прошлого века [14, 37]. Канадские исследователи испытали свыше 300 органических соединений и нашли, что наиболее эффективен как катализатор антрахинон (АХ), обладающий сравнительно небольшим окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП) в желаемых пределах (+ 0,154 В) [51] и устойчивый в щелочном растворе при повышенных температурах [26]. Японские исследователи [56] пришли к выводу, что эффективными катализаторами делигнификации являются хинонные соединения, у которых ОВП находится в пределах 0,10 ... 0,25 В, а в структуре молекул есть эндиольные или подобные им группировки.

Э.И. Чупка с сотрудниками [27, 33] исследовали закономерности протекания окислительно-восстановительных превращений лигнина в щелочной среде и установили активное участие в реакциях растворенного и адсорбированного кислорода.

Однако АХ дорог и дефицитен, имеет низкую растворимость в водном растворе, что приводит к гетерогенности процесса. Кроме того, целлюлоза, получаемая с АХ, как правило, характеризуется низкой белизной, пониженным сопротивлением раздиранию, что недопустимо при производстве бумаги. Этот факт связывают со способностью АХ вызывать расщепление глюкозидных связей в полисахаридах.

Компанией Kawasaki Kasei Chemicals Ltd (Япония) предложен селективный катализатор процесса делигнификации – дунатриевая соль 1,4-дигидро-9,10-дигидроксиантрацена [34]. Это соединение проявляет более значительный ускоряющий эффект, чем АХ. В России производство этого катализатора не налажено в связи с отсутствием сырьевой базы.

Аналоги АХ, катализирующие процесс делигнификации, не менее дефицитны [56].

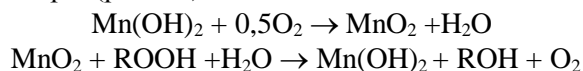
В связи с вышеизложенным значительный научный и технологический интерес представляет поиск заменителей АХ. Приоритетное место среди них занимают соединения металлов переменной валентности, выступающие в роли редокс-систем аналогов ферментов.

Проанализируем результаты наиболее значимых с нашей точки зрения работ по металлокатализу, разделив их на две группы: катализ ионами металлов переменной валентности и катализ комплексными соединениями металлов переменной валентности.

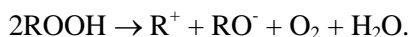
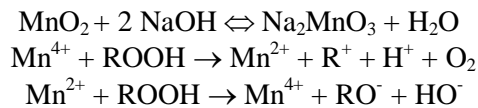
*Катализ процессов делигнификации катионами металлов переменной валентности*

Изучена возможность катализа кислородно-щелочной варки ионами металлов [35, 36, 47, 54, 55, 57]. Результаты работ показали, что даже незначительные добавки соединений марганца (0,01 ... 0,10 % от массы абс. сухой древесины) при кислородно-щелочных (КЩ) варках ускоряют делигнификацию и повышают выход целлюлозы по сравнению с другими металлами. Э.И. Гермер при использовании в качестве катализатора кислородно-содовой варки осиновой щепы свежеприготовленного гидроксида марганца (II) в количестве 0,05 % от массы абс. сухой древесины установил, что введение марганца на стадии развитой варки (продолжительность стоянки при температуре 160 °С составляла 56 или 73 мин) повышает выход целлюлозы до 1,2 ... 1,8 % от массы абс. сухой древесины [7]. Основное влияние марганца в этом случае, по мнению автора, реализуется через его растворимые формы (неустойчивые соединения Mn (IV) , образующиеся в процессе варки и обладающие сильной окислительной способностью) по следующим схемам:

в условиях развитой стадии КЩ варки с понижающимся рН или при варке с постоянным низким рН (рН 7–8):



в условиях КЩ варки с относительно высокой постоянной щелочностью (рН 9–11):



Здесь R – фрагмент органической макромолекулы.

В работе [6] показано влияние ионов Cu(II), Mn(II), Ni(II), Fe(II), Co(II), Fe(II) (в количестве 0,1 % от массы абс. сухой древесины) на ско-

рость делигнификации и выход целлюлозы при КЩ варках. Сопоставление результатов варок показало, что значительное (в 1,9 раза) ускорение делигнификации было достигнуто при добавлении ионов Cu(II). Однако практическое использование этого катиона, по мнению автора, исключено, поскольку оно сопровождалось чрезмерной окислительной деструкцией полисахаридов древесины, приводящей к недопустимо большому снижению (на 19,7 %) выхода целлюлозы. Mn(II) ускоряет делигнификацию в 1,4 раза, при этом и выход целлюлозы возрастает на 1,5 % от абс. сухой древесины. Добавки остальных катионов (Ni(II), Fe(II), Co(II), Fe(III)) привели в той или иной мере к замедлению делигнификации, в ряде случаев сопровождавшемуся падением выхода. Аномальное для металлов переменной валентности стабилизирующее влияние добавки Mn(II) на полисахариды, по мнению Э.И. Гермера, является результатом сложного процесса, связанного с образованием в щелочном варочном растворе оксидов и гидроксидов Mn (II, III, IV), обладающих специфической способностью разлагать гидропероксиды (в том числе и гидропероксидные углеводные интермедиаты) по ион-молекулярному, а не свободно-радикальному механизму, ведущему к усилению деструкции полисахаридов [10].

В работах И.П. Дейнеко с сотрудниками [41, 42] изучено влияние металлов переменной валентности на процесс делигнификации хвойной древесины в условиях кислородной варки в среде 50 %-го этанола. Процесс окисольволиза протекает в слабо кислой среде при температуре 145 ... 165 °С в течение 2 ... 6 ч и сопровождается заметной деструкцией полисахаридов и ухудшением свойств полученного волокнистого полуфабриката. Способность катионов металлов катализировать делигнификацию позволяет проводить варку в мягких условиях (температура 115 ... 135 °С) с сохранением выхода и прочностных свойств целлюлозы. По активности влияния на процесс растворения лигнина исследованные металлы можно расположить в следующий ряд:



Влияние добавок металлов на растворение полисахаридов незначительно, однако оно увеличивается с ростом температуры. Интересно отметить, что катализирующее действие оказывают металлы, находящиеся в высшей, промежуточной и низшей степенях окисления. Очевидно их действие можно объяснить взаимодействием как с активными центрами лигнина древесины, так и с активными промежуточными структурами.

Было обнаружено [42], что определенное влияние на каталитическую активность металла в процессе окисольволиза древесины оказывает природа аниона. На примере солей меди (II) показано, что наибольший эффект достигается при использовании нитрата меди.

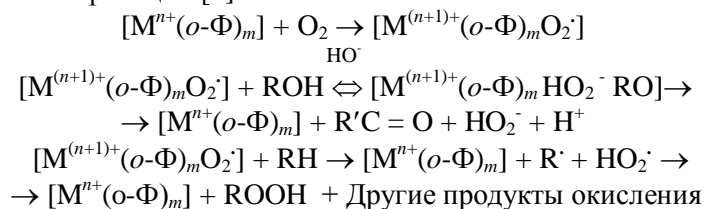
Авторами работы [12] выявлено, что при делигнификации древесины осины в среде бутанола-1 с добавками 5 %-й HCl выход полуфабриката возрастает до 80 ... 86 % при введении гидроксида железа (5 %).

*Катализ процессов делигнификации комплексными соединениями металлов переменной валентности с органическими лигандами*

Из литературы известно [3], что в присутствии некоторых веществ, так называемых активаторов, каталитическая активность ионов металлов переменной валентности значительно возрастает. Такие вещества сами каталитической активности не проявляют, а их действие зачастую основано на способности образовывать комплексное соединение с данным металлом, обладающее большей каталитической активностью. В качестве таких активаторов могут выступать как органические (1,10-фенантролин,  $\alpha, \alpha'$ -дипиридил), так и неорганические (CO, CN<sup>-</sup>) [37] вещества.

Авторами работы [21] был найден эффективный катализатор кислородно-щелочной делигнификации – 1,10 фенантролин (*орто*-фенантролин). Добавки фенантролина ускоряют делигнификацию в условиях кислородно-щелочного процесса в 1,5–2,0 раза при расходе его 0,1 ... 0,5 % от массы абс. сухой древесины. Обеспечивая несколько большее ускорение делигнификации, чем ионы Cu (II), фенантролин не приводит к деструкции полисахаридов. По сравнению с Mn (II) коэффициент ускорения варки с фенантролином больше в 1,5 раза при одинаковом выходе технической целлюлозы [22].

В работе [8] исследовано влияние основных факторов кислородно-щелочной варки на эффективность действия фенантролина. Вид щелочного агента (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaOH, Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>), порода древесины (ель, осина) и конечная температура варки (140 ... 160 °C) при хорошем массообмене практически не сказываются на эффективности действия фенантролина. Выяснено, что при этом действенным фактором является наличие металлов переменной валентности, содержащихся в древесине [5]. Это обнаружили при варке образцов древесины, из которых предварительно были удалены металлы. При этих условиях эффективность действия фенантролина снизилась на 37 %, что указывает на его каталитическое действие, обусловленное образованием комплекса с металлами переменной валентности, содержащимися в системе варочный раствор – древесина. Предложена принципиальная схема процесса, по которой реализуется действие фенантролина при кислородно-щелочной делигнификации [4]:



Здесь R, R' – фрагменты макромолекулы лигнина.

Поскольку Э.И. Гермером был определен механизм реализации катализа через образование комплексного соединения фенантролина с металлом и протолигнином, то работы по поиску наиболее эффективного катализатора были продолжены среди фенантролиновых комплексных соединений [10]. Проведенные исследования по изучению активности фенантролина в присутствии растворимых в воде солей Fe(II, III), Mn(II, IV), Ag(I), Co(II), Ni(II), Sn(II), Cd(II), Zn(II), Cr(III), Sb(III), Al(III), Mo(VI) при КЩ варках дали отрицательные результаты. При добавке 0,03 ... 0,10 % Fe(II, III) от массы абс. сухой древесины (фенантролин 0,5 %) происходит снижение ускоряющего действия фенантролина. При совместной добавке фенантролина и Mn(II) (менее 0,1 %) на ускорение делигнификации сказывается только ускоряющее влияние фенантролина, а при добавке Mn(II) (более 0,1%) наблюдается лишь незначительный по суммарной величине аддитивный эффект. Добавка Cu(II) в количестве 0,001 % (10 мг/кг) значительно ускоряет варку: при одинаковой продолжительности процесса число Каппа целлюлозного материала составляет в этом случае 15,0, тогда как без Cu(II) – 32,2, а без катализатора – 61,2. Образующееся при этом комплексное соединение  $[Cu(Phen)_n]^{2+}$  (где  $n = 1 \dots 3$ ) было названо катализатором делигнификации кислородом (КДК).

КДК был использован для производства кислородно-щелочной целлюлозы из полуфабрикатов высокого (ВВ) и сверхвысокого выхода (СВВ), полученных методом взрывного автогидролиза [11]. Применение КДК позволяет значительно (до 90 ... 100 °С) снизить температуру КЩ варки полуфабрикатов указанного типа фактически без увеличения, а иногда и с сокращением продолжительности по сравнению с КЩ варкой при обычно используемой температуре (140 ... 160 °С), что приводит к весьма существенному росту выхода целлюлозы (на 7 ... 8 % от массы абс. сухого лигноцеллюлозного материала). Фактически ускорение от добавки КДК в данном случае достигает 10–15 раз.

В работе [13] представлены результаты проведенных КЩ варок с использованием в качестве катализатора КДК на пульсационном варочном аппарате, разработанном ВНИИБ. Результаты исследований показали, что при кислородно-содовой варке (концентрация  $Na_2CO_3$  – 153 г/л) сосновой щепы под действием КДК (0,55 % от массы абс. сухой древесины) получено 15-кратное ускорение за первые 2 ч варки при температуре 150 °С. Показано, что способ введения КДК в варочный раствор может влиять на эффективность его действия: целесообразнее КДК добавлять в щепу перед варкой, когда легче с помощью специальных приемов увеличить скорость диффузии катализатора в глубь щепы, что должно обеспечить его присутствие во всем объеме.

Этим же авторам [10] удалось выявить еще два катализатора:  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -дипиридил меди (II), активность и селективность которого подобны фенантролину; 1, 10-фенантролинат свинца (II), показавший хорошую, но меньшую по сравнению с фенантролином активность [10].

Активность комплексов фенантролина с металлами переменной валентности реализуется при наличии кислорода, выступающего в роли окислителя в процессе делигнификации. Поэтому эффективность действия фенантролина при КЩ варках повышается за счет облегчения доступа кислорода к реакционным центрам макромолекулы лигнина [9], что достигается путем повышения содержания кислорода в варочном щелоке, пропитывающем древесину. Так как  $O_2$  значительно лучше растворяется в спиртах и водно-спиртовых системах, чем в воде, то проведение процесса делигнификации в средах, содержащих спирт, должно интенсифицировать процесс. В связи с этим авторами [9] были проведены КЩ и кислородно-щелочно-спиртовые (КЩС) варки осины с добавками фенантролина в качающихся автоклавах при температуре  $160\text{ }^\circ\text{C}$  (содержание спирта в варочном растворе – 50 об. % (КЩС варка),  $NaOH$  – 10 г/л (при КЩС варке 20 ... 40 г/л), гидромодуль – 20 (при КЩС варке –10), давление кислорода – 2,00 МПа (при КЩС варке – 0,49 МПа)). Результаты исследований КЩС варок с добавками фенантролина показали, что он ускоряет варку с этанолом в 1,4 – 1,7 раза (целлюлоза с числом Каппа 25 ... 37), а с пропанолом и бутанолом в 2 и более раз, т.е. значительно больше, чем в случае с КЩ варкой. При использовании этанола в КЩС варках в довольно широком диапазоне чисел Каппа (от 1 до 39) наблюдается приблизительно одинаковая селективность с добавками фенантролина и без него. В случае использования пропанола и бутанола селективность делигнификации в варках с фенантролином повышается весьма существенно: выход на 5 ... 7 %, а степень полимеризации в 2 раза. При этом добавки фенантролина практически полностью нивелируют разницу в скоростях делигнификации варок с разными спиртами. Таким образом, при использовании в КЩС варках (без добавок фенантролина) одноатомных низкомолекулярных спиртов скорость делигнификации и ее селективность возрастают от спирта с большей молекулярной массой к спирту с меньшей молекулярной массой. В случае КЩС варок (добавка фенантролина) эта зависимость имеет обратный характер. Показано, что прочностные свойства КЩС целлюлозы находятся на уровне сульфатной целлюлозы, а введение фенантролина приводит к некоторому их повышению (табл. 1).

Таблица 1

**Характеристика целлюлозы, полученной при КЩС варках осинового дерева с добавками и без добавок фенантролина [9]**

Показатели	Значения показателей для варок	
	без добавок	с добавками
Выход, % от массы абс. сухой древесины	55,5	56,4
Число Каппа	15,2	18,5
Разрывная длина, м	7700	8200
Индекс растяжения, Нм/г	77,1	82,1
Сопротивление раздиранию, мН	402	407
Индекс раздирания, мН·м <sup>2</sup> /г	5,74	5,81
Сопротивление продавливанию, кПа	398	460
Индекс продавливания, кПа·м <sup>2</sup> /г	5,69	6,57

Примечание. Степень помола 60...65 °ШР, поверхностная плотность отливок 70 г/м<sup>2</sup>.



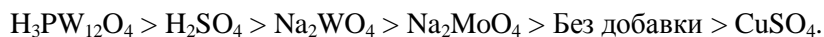
*Катализ процессов делигнификации комплексными соединениями металлов переменной валентности с неорганическими лигандами*

Поиск эффективных катализаторов для окислительных способов делигнификации в щелочной среде ведется и среди комплексных соединений переходных металлов с неорганическими лигандами. В работе [15] исследовано влияние концентрации  $K_3Fe(CN)_6$  на скорость генерации  $OH\cdot$ ,  $O_2\cdot^-$  и окисления древесины, лигнина и углеводов. Скорость окисления контролировали по скорости потребления кислорода, которую определяли микрометрометрическим методом. Установлено, что при окислении древесины осины потребление кислорода в 4,5 раза больше в случае с добавкой  $K_3Fe(CN)_6$ , чем без нее.

Изучение окисления лигнина при добавке  $K_3Fe(CN)_6$  и без нее показало, что потребление кислорода для первого случая в 4 раза больше. В то же время при окислении углеводов во всем интервале концентраций  $K_3Fe(CN)_6$  происходит снижение скорости потребления кислорода. Таким образом, по отношению к углеводам  $K_3Fe(CN)_6$  оказывает ингибирующее действие. Все это безусловно указывает на возможность использования его в качестве катализатора.

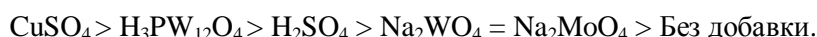
Известно, что окислительная делигнификация, осуществляемая в среде пероксид водорода – органическая кислота (уксусная, муравьиная) – вода, значительно ускоряется в присутствии каталитических добавок. Варочный процесс можно осуществить при температурах ниже 100 °С и атмосферном давлении. В качестве таких добавок в работе [18] использовали вольфрамат натрия, молибдат натрия, фосфорновольфрамную кислоту, серную кислоту и их смеси в разных соотношениях, сульфат меди. Окислительной варке подвергали сосновые опилки с размером 0,5 ... 2,0 мм, обработанные смесью равных количеств ледяной уксусной кислоты и 30 %-го водного раствора  $H_2O_2$  в присутствии катализатора. Условия делигнификации: жидкостный модуль 20, температура 80 °С, продолжительность 60 мин, суммарный расход катализатора 5 % от массы древесины.

Все рассмотренные катализаторы оказывают существенное положительное влияние на степень конверсии лигнина (>0,70 против 0,58 без добавок). Этот вывод не распространяется на результаты варок с добавкой  $CuSO_4$ , которая не проявляет себя как катализатор, а наоборот во всех случаях ингибирует процесс делигнификации. По эффективности действия добавки ранжируются в следующий ряд:

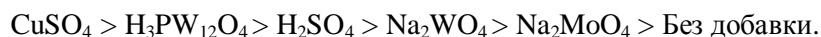


Значительный синергетический эффект при совместном действии разных катализаторов не обнаружен. Двойные системы катализаторов  $Na_2WO_4 - H_2SO_4$ ,  $Na_2MoO_4 - H_3PW_{12}O_4$  и  $Na_2MoO_4 - H_2SO_4$  более эффективны, чем каждый из этих катализаторов в отдельности. Степень конверсии углеводов в большинстве случаев близка к нулю. Наибольшей селективно-

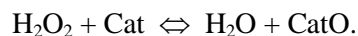
стью делигнификации отличаются пероксокомплексы Мо и W. Добавки  $\text{CuSO}_4$  усиливают деструкцию углеводов. По влиянию на деструкцию углеводной части добавки располагаются в следующий ряд:



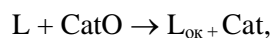
Довольно сильное влияние оказывают добавки на разложение  $\text{H}_2\text{O}_2$ . По степени влияния на разложение  $\text{H}_2\text{O}_2$  они ранжируются в ряд:



Между степенью конверсии лигнина и  $\text{H}_2\text{O}_2$  существует обратная связь. Таким образом, улучшение селективности варочного процесса можно ожидать от использования систем, снижающих скорость разложения  $\text{H}_2\text{O}_2$ . По мнению авторов [19], каталитическое действие данных систем обусловлено быстрым обратимым образованием промежуточных пероксокомплексов металлов (CatO), содержащих активный кислород в синглетной форме:



Далее этот кислород медленно выделяется, что приводит к окислению субстрата и регенерации катализатора:



где L и  $\text{L}_{\text{ок}}$  – лигнин и продукты его окисления.

В этой же работе [19] отмечено, что наилучшие результаты делигнификации древесины пероксидом водорода в кислой среде достигнуты при использовании смешанного катализатора – вольфрамата, молибдата и серной кислоты в примерном соотношении их мольных долей 0,3 : 0,3 : 0,4.

В работе Р.З. Пена с коллегами [20] рассмотрено влияние основных технологических факторов (продолжительность обработки, концентрация  $\text{H}_2\text{O}_2$ , серной кислоты, катализатора, гидромодуль) на процесс делигнификации древесины ели при температуре 85 °С. Результаты работы показали, что одноступенчатая катализируемая пероксидная варка хвойной древесины позволяет получить целлюлозу с высоким выходом (60 %). Недостатком этого способа является большой расход пероксида водорода (10 ... 16 %) и высокая начальная концентрация вольфраматно-молибдатного катализатора в варочном растворе (0,001 ... 0,100 М). За счет проведения процесса в две ступени, включающих неглубокое катализируемое окисление и щелочную экстракцию лигнина, можно значительно снизить концентрацию катализатора и расход пероксида водорода.

Авторы работы [23] использовали пероксид водорода, активированный молибдатом (mP) при ECF отбелке хвойной сульфатной целлюлозы. Типичная mP делигнификация сульфатной целлюлозы (число Каппа 8 ... 12) при температуре 80 °С и продолжительности реакции 180 мин приводит к

Таблица 2

## Результаты ECF и TCF отбелки хвойной сульфатной целлюлозы [23]

Показатели	Значения показателей при последовательности варки				
	-Q-mP-Q-P	-mP-P-Q-P	-Q-P-Q-P	-mP-D-Ep-D	-EOP-D-Ep-D
Белизна, % ISO	88	85...87	85...86	90	90
Число Каппа	<1,0	1,2...1,5	2,3	<1,0	<1,0
Вязкость, дм <sup>3</sup> /кг	620	690...720	590	750	740
Сопротивление разрыву, мН·м <sup>2</sup> /г	12,5...13,0	13,5...14,5	12,0	14,5	14,0
Потребление H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , кг/т	55...60	45...50	55...60	10	6
Число Каппа/Вязкость	<u>17,0</u>	<u>18,0...20,0</u>	<u>15,5</u>	<u>26,5</u>	<u>23,0</u>
	850	880...910	810	980	950
Производительность, т/сут.	520	540...550	500	610	580

Примечание. Предприятие производит 200 тыс. т товарной целлюлозы в год (80 % хвойной, 20 % лиственной) традиционным способом варки.

делигнификации на 40 ... 50 %. В том случае, когда mP делигнификация используется для активирования остаточного лигнина, предшествуя кислородной стадии, реакция может быть проведена при более мягких условиях. В работе представлены результаты промышленной mP делигнификации на предприятиях Финляндии и Швеции, выпускающих ECF- и TCF- целлюлозу (табл. 2). Проведенные испытания подтвердили эффективность применения данного метода в промышленности.

*Катализ процессов делигнификации ферментами  
и соединениями, моделирующими их*

Анализ работ в области биохимического катализа при делигнификации древесины показывает, что совместное действие различных ферментов более эффективно, нежели раздельное, наиболее активными составляющими этих систем являются пероксидаза и лакказы [53]. Опираясь на эти данные, авторами работы [16] было изучено каталитическое окисление древесины и ее компонентов при добавках лакказы, пероксидазы, салькомина, а также порфиринов Co, Cu, Ni, Fe, Zn, Mn. Скорость окисления контролировали по интенсивности свечения хемилюминесценции. Результаты исследований показали, что при окислении древесины системой пероксидаза – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> интенсивность хемилюминесценции возрастает с увеличением концентрации пероксидазы в 4 раза (в пределах концентраций  $7 \cdot 10^{-8}$  ...  $7 \cdot 10^{-6}$  моль/л). Пероксидаза оказывается эффективной лишь при использовании H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, в то время как лакказа катализирует окисление лигнина без H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. По мнению авторов, основная роль пероксидазы заключается в катализе направленного распада H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> по радикальному механизму с генерацией OH<sup>·</sup>, в то время как лакказа, очевидно, увеличивает эффективность окисления за счет трансформации O<sub>2</sub> в OH<sup>·</sup>.

Известно, что пероксидаза и лакказа содержат в качестве активного начала соответственно Fe и Cu, поэтому в работе [32] была дана оценка эффективности химических аналогов ферментных систем: порфиринов Co, Cu, Fe, Zn, Mn, салькомина (N,N'-(бис)салицилиденэтилендиамин кобальта (II)). Оценку эффективности каталитического действия порфиринов и салькомина производили по их влиянию на скорость генерации OH<sup>·</sup>. В результате исследований установлено, что при окислении древесины порфирины и салькомин в зависимости от вида металла в значительной степени катализируют генерацию OH<sup>·</sup>. Наиболее эффективными являются порфирины Co(III) и салькомин, они увеличивают концентрацию OH<sup>·</sup> соответственно в 27 и 7 раз. Такой же эффект достигается и при окислении лигнина, а при окислении холоцеллюлозы порфирин Co(III) и салькомин увеличивают концентрацию OH<sup>·</sup> соответственно в 5 и 2 раза, что указывает на оптимальный вариант катализа.

Однако результаты работ [6, 10] показали, что при температуре КЩ варки (150 °С) салькомин в значительной степени разрушается с выделением Co(II), тормозящего делигнификацию и снижающего ее селективность.

В последнее десятилетие появились публикации [40, 44–46, 59–62], посвященные изучению новых каталитических систем на основе металлов переменной валентности, так называемых полиоксометаллатов (ПОМ).

ПОМ представляют собой класс катализаторов, обеспечивающих основу для создания новых технологий делигнификации и отбелки с закрытым циклом. Активными делигнифицирующими агентами их являются замещенные кластерные анионы переходных металлов, подобные по структуре многим минеральным рудам. В активном состоянии они могут разрушать лигнин и соответствующие хромофоры, не разрушая полисахариды. Далее они реактивируются кислородом и таким образом рециркулируют.

Впервые данные о новых катализаторах процесса делигнификации были опубликованы в 1992–1994 гг. [61, 62], и с тех пор два поколения ПОМ разработаны в лабораториях Университета Висконсин-Мэдисон и Эмори университета (США).

Делигнифицирующее действие ПОМ было обнаружено в процессе поиска и создания каталитических систем, дублирующих действие энзимов пероксидазы, известной своей высокой селективностью к лигнину. В отличие от пероксидазы полиоксометаллаты устойчивы к повышению температуры.

Селективность действия пероксидаз базируется на использовании ими ионов переходных металлов в контролируемом органическом окружении для катализа окисления лигнина. Перечисленные выше литературные данные об органических аналогах пероксидаз представляют, в основном, академический интерес, поскольку эти комплексы нестабильны при повышенных температурах. Поэтому исследования были направлены на поиск неорганических систем, действующих как пероксидазы, но обладающих стабильностью при высоких температурах, что сделало бы возможным их промышленное применение.

Было обнаружено, что кластерные анионы ПОМ имеют лигандное окружение, выполняющее функцию органической платформы во многих энзимных системах грибов, если активный ион металла помещен в структуру полиоксометаллата.

Первые каталитические системы, так называемые одноэлектронные ПОМ [61, 62], включали в себя 12 структурных атомов переходного металла (W или Mo), расположенных кластером вокруг основного атома группы (P, Si или Al). Чтобы активизировать ПОМ для делигнификации, один или два структурных атома металла кластерного аниона замещают на атомы переходного металла (V или Mn).

В последних работах [40, 59, 60] представлены ПОМ, при использовании которых осуществляются двух- и трехэлектронные переходы. Новое поколение ПОМ – это селективные, термодинамически стабильные, регенерируемые и более эффективные катализаторы.

Д.В. Евтюгин с сотрудниками [44–46] использовали ПОМ состава  $[PM_7V_5O_{40}]^{8-}$  (гептамолибдопентаванадофосфат гетерополианион), устойчивый в среднекислой среде. Принцип катализа, по их мнению, состоит в следующем: ПОМ, имея величину кинетического барьера окисления лигнина ниже, чем кислород, окисляют лигнин; восстановленная форма ПОМ реокисляется кислородом. Окисление лигнина и реокисление ПОМ происходит в одну стадию. Благодаря полному окислению органических веществ до  $CO_2$  и  $H_2O$  технологические растворы могут быть использованы многократно.

Практически ПОМ-катализаторы опробованы в настоящее время в условиях отбелки кислородом (кислородная делигнификация). Они позволяют снизить число Каппа с 30 до 5 и ниже при сохранении вязкости на уровне 20 ед. [60]. В работе [46] представлена схема пилотной установки, созданной в Университете Авейро (Португалия), на которой были реализованы схемы ECF отбелки. Катализатор вводили на ступени кислородной делигнификации.

Следует отметить, что использование катализаторов на основе металлов переменной валентности при разработке схем и технологий ECF- и TCF отбелки вызывает большой интерес как в России, так и за рубежом. Кроме перечисленных выше полиоксометаллатов для этой цели применены двухядерные комплексы Mn(II), порфирины Fe и Cu и салькомин Co [58]. Катализаторы используют на ступенях обработки массы пероксидом водорода и кислородом.

#### *Заключение*

Анализ отечественного и зарубежного опыта в области применения катализаторов на основе металлов переменной валентности для процессов делигнификации при варке и отбелке целлюлозы позволяет сделать следующие выводы.

1. Использование катализаторов дает возможность перейти к бессернистым способам варки и TCF технологии отбелки или снизить расход хлорсодержащих реагентов в ECF схемах.

2. Предлагаемые каталитические системы можно разделить на три группы: неорганические соли металлов переменной валентности; комплексные соединения металлов переменной валентности с неорганическими и органическими лигандами; биохимические комплексы металлов переменной валентности (ферменты) и их аналоги.

3. Соединения второй группы имеют более высокую каталитическую активность, чем неорганические соли. Кроме того, они более устойчивы к повышенным температурам и изменениям параметров процесса, чем ферменты и их аналоги.

Таким образом, поиск гомогенных катализаторов процесса делигнификации следует вести среди комплексных соединений металлов переменной валентности с органическими и неорганическими лигандами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боголицын К.Г. Разработка научных основ экологически безопасных технологий комплексной химической переработки древесного сырья // Лесн. журн. – 1998. – № 2-3. – С. 40–52. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Боголицын К.Г., Резников В.М. Химия сульфитных методов делигнификации. – М.: Экология, 1994. – 420 с.
3. Бончев П. Комплексообразование и каталитическая активность. Активирование гомогеннокаталитических реакций в растворах. – М.: Мир, 1975. – 270 с.
4. Гермер Э.И., Бутко Ю.Г. Интенсификация кислородно-щелочной делигнификации лигноцеллюлозных материалов с помощью *o*-фенантролина. 3. О химизме и механизме действия *o*-фенантролина // Химия древесины. – 1983. – № 5. – С. 32–37.
5. Гермер Э.И., Горенков Р.А. Интенсификация кислородно-щелочной делигнификации лигноцеллюлозных материалов с помощью 1,10-фенантролина. 5. Роль металлов, содержащихся в древесине, в реализации каталитического действия 1,10-фенантролина // Лесн. журн. – 1994. – № 3. – С. 90–94. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Гермер Э.И. Катализ кислородно-щелочной делигнификации // Бум. пром-сть. – 1990. – № 11. – С. 6–8.
7. Гермер Э.И. О действии соединений марганца при кислородно-щелочной варке // Химия древесины. – 1982. – № 5. – С. 25–30.
8. Гермер Э.И., Онохин С.А., Бутко Ю.Г. Интенсификация кислородно-щелочной делигнификации лигноцеллюлозных материалов с помощью *o*-фенантролина. 2. Влияние основных факторов варки на эффективность действия *o*-фенантролина // Химия древесины. – 1982. – №3. – С. 31–35.
9. Гермер Э.И., Горенков Р.А. Кислородно-щелочно-спиртовая варка древесины с катализатором // Целлюлоза, бумага, картон. – 1992. – № 10. – С. 23–25.
10. Гермер Э.И. Химизм и катализ кислородно-щелочной делигнификации древесины: Автореф. дис. ... докт. хим. наук. – С-Петербург, 1999. – 130 с.
11. Гермер Э.И. Эффективный катализ – путь получения качественной кислородно-щелочной целлюлозы // Целлюлоза, бумага, картон. – 1994. – № 5-6. – С. 20–22.

12. Изучение органосольвентной варки целлюлозы в присутствии различных катализаторов / Б.Н. Кузнецов, А.А. Ефремов, С.А. Кузнецова и др. // Химия растительного сырья. – 1999. – № 2. – С. 85–90.

13. Катализ кислородно-щелочной делигнификации в пульсационной варочной установке с применением нового эффективного катализатора / Э.И. Гермер, Л.О. Иоффе, Ю.С. Иванов и др. // Лесн. журн. – 1997. – № 3. – С. 93–109. – (Изв. высш. учеб. заведений).

14. Каталитическая делигнификация древесины / А.В. Вураско, С.Ю. Меньшиков, А.Я. Агеев и др. // Лесн. журн. – 1994. – № 3. – С. 94–99. – (Изв. высш. учеб. заведений).

15. Каталитическое окисление древесины и ее компонентов в условиях окислительных способов делигнификации. 1. Влияние феррицианида калия на скорость окисления древесины и ее компонентов / Э.И. Чупка, С.Ж. Трофимова, С.В. Егорова, И.М. Лужанская // Химия древесины. – 1991. – № 5. – С. 19–25.

16. Каталитическое окисление древесины и ее компонентов в условиях окислительных способов делигнификации. 2. Влияние ферментов и некоторых модельных систем на генерацию активных форм кислорода при окислении древесины и ее компонентов / Э.И. Чупка, С.Ж. Трофимова, С.Ю. Соловьева и др. // Химия древесины. – 1993. – № 1-3. – С. 51–57.

17. *Непенин Н.Н., Непенин Ю.Н.* Технология целлюлозы: В 3-х т. Том 3. Очистка, сушка и отбелка целлюлозы. Прочие способы производства целлюлозы. – М.: Экология, 1994. – 592 с.

18. Низкотемпературная окислительная делигнификация древесины. 3. Синергетические свойства катализаторов окисления / С.И. Суворова, М.О. Леонова, И.Л. Шапиро, Р.З. Пен // Лесн. журн. – 1996. – № 1-2. – С. 22–30. – (Изв. высш. учеб. заведений).

19. Низкотемпературная окислительная делигнификация древесины. 7. Активность катализаторов окисления лигнина пероксидом водорода / Р.З. Пен, А.В. Бышев, И.Л. Шапиро и др. // Химия растительного сырья. – 2001. – № 1. – С. 43–48.

20. Низкотемпературная окислительная делигнификация древесины. 8. Пероксидная варка и щелочная экстракция / Р.З. Пен, А.В. Бышев, И.Л. Шапиро // Химия растительного сырья. – 2001. – № 3. – С. 5–10.

21. *Онохин С.А., Гермер Э.И., Бутко Ю.Г.* Добавка, интенсифицирующая кислородно-щелочную варку // Химия древесины. – 1981. – № 4. – С. 110–111.

22. *Онохин С.А., Гермер Э.И., Бутко Ю.Г.* Интенсификация кислородно-щелочной делигнификации лигноцеллюлозных материалов с помощью *o*-фенантролина. 1. Общая характеристика действия *o*-фенантролина при одноступенчатой варке // Химия древесины. – 1982. – № 3. – С. 26–30.

23. *Парен А., Якара Й.* Использование пероксомолибдата при ECF отбелке сульфатной целлюлозы // Целлюлоза, бумага, картон. – 1999. – № 1-2. – С. 20–23.

24. Пат. 2019609 RU. Способ получения целлюлозного полуфабриката из древесины лиственных пород / М.А. Зильберглейт, И.В. Смолова, Б.С. Симхович // БИ. – 1994. – № 17. – С. 97.

25. Пат. 2042004 RU. Способ получения волокнистого полуфабриката для получения бумаг / С.И. Суворова, Р.З. Пен и др. // БИ. – 1995. – № 23. – С. 197.

26. Применение антрахинона и родственных соединений в качестве добавок при щелочной делигнификации древесины / Р.Н. Ковалевская, Ю.А. Бойко, М.А. Иванов, В.М. Крюков // Химия древесины. – 1981. – № 2. – С. 7–19.

27. *Сергеев А.Д.* Хемилюминесценция при окислении лигнина в условиях щелочных способов делигнификации древесины: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Л., 1984. – 20 с.
28. Современные тенденции развития и совершенствования производства целлюлозы // Целлюлоза, бумага, картон. – Зарубеж. опыт: Экспресс-информация. – 1989. Вып. 7. – 40 с.
29. Термодинамика поведения лигнина в растворителях различной природы // Лесн. журн. – 1994. – № 1. – С. 103–109. – (Изв. высш. учеб. заведений).
30. Физические методы в химии гетероциклических соединений / Пер. с англ. Под ред. А.П. Катрицкого. – М.; Л.: Химия, 1966. – 658 с.
31. Чудаков М.И. Растительные редокс-комплексы как катализаторы делигнификации древесины (обзор) // Химия древесины. – 1981. – № 6. – С. 3–18.
32. *Чунка Э.И., Трофимова С.Ж., Сергеев А.Д.* Эффективность кислотно-основного катализа при окислении древесины в водно-органических средах. 2. Каталитическое и ферментативное окисление древесины и ее компонентов // Лесн. журн. – 1995. – № 4-5. – С. 85–93. – (Изв. высш. учеб. заведений).
33. *Шадьинская О.В., Чунка Э.И.* Кинетика начальных стадий окисления лигнина // Химия древесины. – 1984. – № 6. – С. 104–105.
34. Щелочная варка древесины смеси хвойных пород с катализатором делигнификации  $\text{Na}_2\text{ДДА}$  / В.В. Вершаль, О.А. Трифонова, В.А. Бабкин и др. // Целлюлоза, бумага, картон. – 1996. – № 5-6. – С. 22–24.
35. *Abrahamsson R., Samuelson O.* Oxygen-alkali cooking of wood meal. Pt.5. Influence of metal compounds and soaking in acid // Svensk papperstidn. – 1975. – A. 78, N 4. – S. 135–140.
36. *Abrahamsson R., Samuelson O.* Oxygen-alkali cooking of wood meal. Pt.7. Influence of manganese and iron compounds // Svensk papperstidn. – 1976. – A. 79, N 9. – S. 281–285.
37. *Bach B., Fiehn G.* Neue Moglichkeiten zur Kohlehydratstabilisierung im alkalischen Holzaufschluss // Zellstoff und Papier. – 1972. – Jg.21, H.1. – S. 3–8.
38. *Bogolitsyn K.* Thermodynamics of wood matrix state // Cellulose and cellulose derivatives: Physico-chemical aspects and industrial applications. – Woodhead. Pub. Ltd, 1995. – P.499–506.
39. *Dahlmann G., Schroeter M.C.* Solvent pulping – the no-odor approach to chemical pulping // Междунар. симп. PapFor-92: Тез. докл. – С. 297–315.
40. Degradation of pulp-mill effluent by oxygen and  $\text{Na}_5[\text{PV}_2\text{Mo}_{10}\text{O}_{40}]$ , a multi-purpose delignification and wet air oxidation catalyst / D.M. Sonnen, R.S. Reiner, R.H. Atalla, I.A. Weinstock // Ind. Eng. Chem. Res. – 1997. – N 36. – P. 4134–4142.
41. *Deineko I.P., Kolpatchnikov R.L., Deineko I.V.* Influence of metal ions on oxysolvolytic of wood // Proceedings of 6th EWLP. – France, 2000. – P. 287–289.
42. *Deineko I.P., Kolpatchnikov R.L., Deineko I.V.* Influence of cupric ions on oxysolvolytic of wood // Proceedings of 11th ISWPC. – Nice, France, 2001. – Vol. II. – P. 309–311.
43. Evaluation of redox reactivity of lignin / A.M. Aizenshtadt, M.V. Bogdanov, K.G. Bogolitsyn, D.S. Kosyakov // Abstr. EWLP-2000. – France, 2000. – P. 667–668.
44. *Evtuguin D.V., Pascoal Neto C.* New polyoxometalate promoted method of oxygen delignification. – Holzforschung, 1997. – Vol. 51, N 4. – P. 338–342.
45. *Gaspar A., Evtuguin D.V., Pascoal Neto C.* New highly selective oxygen delignification of kraft pulp promoted by Mn-assisted polyoxometalates // Proceedings of 11th ISWPC. – Nice, France, 2001. – Vol. II. – P. 227–230.



46. *Gaspar A., Evtuguin D.V., Pascoal Neto C.* Pulp bleaching catalysed by polyoxometalates - first pilot scale experience // Proceedings of 7<sup>th</sup> EWLP. – Turku, Finland, 2002. – P. 103–106.
47. *Glassel C., Samuelson O., Wennergren B.* Oxygen-alkali cooking of wood meal. Pt.10. Influence of copper and manganese compounds // Svensk papperstidn. –1977. – A. 80, N 6. – S. 171–172.
48. *Gorbova N.S., Kosyakov D.S., Bogolitsyn K.G.* The protolitic properties of lignin model compounds in mixed solvent DMSO-water // Abstr. EWLP-2000. – France, 2000. – P. 339–342.
49. *Gur'ev A.Yu., Bogolitsyn K.G., Skrebets T.E.* Study of thermodynamic miscibility of a lignin-hemicellulose system by water vapour static sorption method // Wood Chemistry. – 1993. – N 4. – P. 3-5.
50. *Gur'ev A.Yu., Bogolitsyn K.G., Skrebets T.E.* Thermodynamic miscibility in lignin-cellulose and hemicellulose-cellulose system // Wood Chemistry. – 1994. – N 1. – P. 6–7.
51. *Holton H.H., Chapman F.L.* Kraft pulping with anthraquinone // TAPPI. – 1977. – Vol. 60, N 11. – P. 121–125
52. *Jorma S.* Chemical pulping based on formic acid: summary of milox research // Pap. Ja Puu. – 1996. – Vol. 78, N 3. – P. 92–95.
53. *Kirk T. K., Higuchi T., Chang H.M.* Lignin biodegradation: microbiology, chemistry and potential application.- Baca Ration, 1980. – Vol. 1. – P. 241.
54. *Landucci L., Sanyer N.* Influence of metal and iodide ions in oxygen pulping of loblolly pine // TAPPI. – 1974. – Vol. 57, N 10. – P. 97–100.
55. *Landucci L., Sanyer N.* Influence of transition metals in oxgen pulping // TAPPI. – 1975. – Vol. 58, N 2. – P. 60–63.
56. *Nomura J., Nakamura M.* Studies on quinone additive cooking // Japan TAPPI. – Pt.1. – 1978. – Vol. 32, N 12. – P. 45-52; Pt.2. – 1979. – Vol. 33, N 2. – P. 37–40.
57. *Pal D., Samuelson O.* Oxygen-alkali cooking of wood meal. Pt.8. Influence of precooking and manganese addition on the cooking of spruce // Svensk papperstidn. – 1976. – A. 79, N 10. – S. 311–315.
58. *Patt R., Odermatt J., Kühne L.* Catalysed peroxide bleaching // Proceedings of 6<sup>th</sup> EWLP. – France, 2000. – P. 73–76.
59. Progress in the development and optimization of polyoxometalate delignification systems / R.H. Atalla, I.A. Weinstock, J.S. Bond и др. // Proceedings of 7<sup>th</sup> EWLP. – Turku, Finland, 2002. – P. 381–384.
60. Thermodynamically stable, self-buffering polyoxometalate delignification systems / R.S. Reiner, I.A. Weinstock, R.H. Atalla и др. // Proceedings of 11<sup>th</sup> ISWPC. – Nice, France. – 2001. – Vol. II. – P. 349–352.
61. *Weinstock I.A., Atalla R.H., Hill C.L.* Highly selective oxidative delignification of kraft pulp by soluble polyoxometalate salts and oxygen // Proceedings of 3<sup>rd</sup> EWLP. – Stockholm, Sweden. – 1994. – P. 93–96.
62. *Weinstock I.A., Hill C.L., Minor J.L.* Oxidative delignification and bleaching of lignocellulose materials by vanadium substituted polyoxometalates // Proceedings of 2<sup>nd</sup>. – Grenoble, France. – 1992. – P. 33–34.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 28.10.02

---

*K.G. Bogolitsyn, N.R. Popova, T.E. Skrebets, A.E. Kosheleva*  
**Wood Delignification Catalyzed by Compounds  
of Variable Valence Metals**

Analytical review of works over last 10–15 years carried out in using catalysis by metals of variable valency in delignification in pulp cooking and bleaching.

---

УДК 676.012

*Е.В. Дьякова, Л.А. Миловидова, В.И. Комаров,  
Т.Н. Коробейникова, М.Н. Лукина*

Дьякова Елена Валентиновна родилась в 1977 году, окончила в 1999 году Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства. Область научных интересов – исследование свойств полуфабрикатов для производства тарного картона.



Миловидова Любовь Анатольевна родилась в 1946 г., окончила в 1970 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии ЦБП Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 научных трудов в области производства беленых волокнистых полуфабрикатов.



Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 160 печатных трудов в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



### **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДИФИКАЦИЙ НЕЙТРАЛЬНО-СУЛЬФИТНОЙ ВАРКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Установлено, что для производства нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы предпочтительнее использовать листовую древесину. Варки при повышенных значениях расхода химикатов и продолжительности стоянки на конечной температуре позволяют получить полуцеллюлозу с наибольшим выходом. Полуфабрикат с максимальными характеристиками жесткости (сопротивление плоскостному сжатию) получен при варке полуцеллюлозы со степенью замещения моносulfита белым целлоком 40 %.

нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза, фракционный состав, моносulfит натрия, буфер, разрывная длина, сопротивление продавливанию, сопротивление плоскостному сжатию.

Нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза используется в производстве флютинга, а также в композиции основного слоя крафт-лайнера. Классическим вариантом производства этого полуфабриката является варка с использованием моносulfита, забуференного содой или бикарбонатом. Продолжительность подъема до конечной температуры (175 °С) составляет 35 мин; продолжительность стоянки на конечной температуре – 25 мин; гидромодуль варки 3,7:1,0.

Модификации этого процесса позволяют повысить как выход полуцеллюлозы, так и одну из основных ее характеристик – сопротивление плоскостному сжатию.

Для оценки влияния различных модификаций варки нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы (НСПЦ) на свойства полуфабриката выполнены лабораторные варки с использованием следующих варочных растворов: на чистом моносulfите; на моносulfите с добавкой NaOH или белого щелока; на отработанном моносulfитном (красном) щелоке с добавкой белого щелока; на зеленом щелоке и на смеси зеленого и белого щелоков.

В ходе эксперимента варьировали основные факторы варки: температуру, расход химикатов, породный и фракционный состав щепы.

Для изготовления образцов полученную полуцеллюлозу подвергали горячему размолу до 30 °ШР. Масса 1 м<sup>2</sup> изготовленных отливок составляла 125 г. Для оценки физико-механических свойств полученных образцов использовали стандартные характеристики: разрывную длину  $L$ , сопротивление продавливанию (П), сопротивление раздиранию  $R$ , сопротивление плоскостному сжатию (СМТ). Полученные экспериментальные результаты представлены в табл.1–6.

Переменными параметрами при проведении варок смеси хвойной (98,2 %) и лиственной (1,8 %) щепы с использованием моносulfита, забуференного содой, были температура стоянки, продолжительность варки и расход химикатов. Как следует из приведенных в табл. 1 данных, оптимальным является режим №8. Испытания показали, что повышение температуры

Таблица 1

**Варки НСПЦ на моносulfите, забуференном содой**

Порядковый номер варки	Температура стоянки, °С	Продолжительность стоянки, мин	Расход химикатов на варку**	Характеристики полуцеллюлозы			
				В, %	$L$ , м	П, кПа	СМТ, Н
*	175	25	14	-	6550	421	304
1	170	15	10	87,2	5300	235	152
2	180	15	10	77,9	7850	392	166
3	170	15	14	87,9	5900	279	136
4	180	15	14	79,2	6700	397	178
5	170	25	10	87,0	7250	394	171
6	180	25	10	76,0	7400	431	190
7	170	25	14	88,8	8250	470	207
8	180	25	14	79,6	8300	529	220

\* Варка лиственной щепы по классическому режиму в лабораторных условиях.

\*\* Здесь и далее, в табл. 2–6, расход приведен в процентах от массы абс. сухой древесины в ед.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Таблица 2

## Варки\* НСПЦ на моносульфите с добавкой NaOH

Порядковый номер варки	Соотношение $\text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{NaOH}$	Расход химикатов на варку	Характеристики полуцеллюлозы				
			B, %	L, м	П, кПа	СМТ, Н	R, мН
1	1:4	10	81,6	5400	350	240	860
2	4:1	10	84,6	5900	350	250	900
3	1:4	12	80,7	4550	260	200	700
4	4:1	12	84,5	5800	350	260	800
5	1:4	14	80,1	5500	340	230	820
6	4:1	14	82,7	5400	320	220	740

\* Лиственная щепка.

на 10 °С значительно увеличивает все механические характеристики при снижении выхода (B) полуцеллюлозы на 10 %. Увеличение расхода химикатов с 10 до 14 % и продолжительности варки с 15 до 25 мин приводит к увеличению выхода НСПЦ и всех механических показателей (варка № 7).

В табл. 2 объединены результаты варок лиственной щепы. Варочный раствор представлял собой смесь моносульфита (в единицах  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и NaOH. Исследовано два соотношения  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и NaOH (4:1 и 1:4). Варки проводили с разными расходами химикатов (10, 12, 14 %) при постоянной температуре 175 °С. В этом случае оптимальным является режим варки № 4. При соотношении  $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{NaOH} = 4:1$  и расходе химикатов 12 % все физико-механические показатели полуцеллюлозы выше, чем в остальных случаях. Увеличение расхода химикатов снижает выход полуцеллюлозы, а увеличение содержания каустика в варочном растворе – разрывную длину, сопротивление раздиранию и сопротивление плоскостному сжатию.

Таблица 3

## Варки НСПЦ на моносульфите с добавкой белого щелока

Порядковый номер варки	Породный состав щепы, %		Добавка белого щелока, %	Расход химикатов на варку	Характеристики полуцеллюлозы				
	Хвойная	Лиственная			B, %	L, м	П, кПа	СМТ, Н	R, мН
*	-	100,0	-	10,0	81,1	7750	500	-	-
*	-	100,0	-	14,0	83,3	8200	598	-	-
1	4,7	95,3	-	12,0	81,7	7100	460	310	1240
2	30,0	70,0	-	12,0	83,1	6850	461	260	1140
3	4,7	95,3	10	14,2	77,0	7350	529	305	1220
4	4,7	95,3	20	15,9	75,9	6400	441	290	1290
5	30,0	70,0	20	15,9	75,8	6350	443	242	1470
6	4,7	95,3	30	18,3	72,3	7300	470	320	1250

7	4,7	95,3	40	20,2	67,9	7300	540	325	1410
8	30,0	70,0	40	20,1	69,6	5850	510	266	1810

\* Варки проведены по классическому режиму.

Таблица 4

**Варки НСПЦ на моносulfите с добавкой белого щелока и опилок**

Порядковый номер варки	Состав сырьевой смеси, %		Расход химикатов на варку	Характеристики полуцеллюлозы		
	Щепа	Опилки		В, %	L, м	П, кПа
1	100	-	14	83,3	8200	598
2	100	-	10	81,1	7750	500
3	90	10	14	80,4	7800	549
4	84	16	14	81,2	7850	539
5	84	16	14	79,9	7900	559
6	84	16	14	-	7900	549
7	84	16	10	80,7	6500	421
8	70	30	14	80,7	6150	333

Результаты варок с добавкой белого щелока представлены в табл. 3, 4. В этой серии варок варьировали расход химикатов, относительное содержание белого щелока в варочном растворе и фракционный состав щепы. При увеличении расхода химикатов выход полуфабриката снижается приблизительно на 10 %, а механические показатели увеличиваются (см. табл. 3). При увеличении доли белого щелока в варочном растворе от 10 до 40 % ухудшения механических свойств полуцеллюлозы не отмечено.

Повышение содержания хвойной щепы с 4,7 до 30 % уменьшает сопротивление плоскостному сжатию на 20 %. Наличие в составе щепы древесных опилок снижает выход и разрывную длину полуцеллюлозы (табл. 4).

Проведены варки на отработанном моносulfитном (красном) щелоке с добавкой белого щелока (табл. 5). Переменные параметры этих варок: расход химикатов и фракционный состав щепы. В этом случае увеличение

Таблица 5

## Варки НСПЦ на отработанном щелоке с добавкой белого щелока

Порядковый номер варки	Породный состав щепы, %		Состав сырьевой смеси, %			Расход химикатов на варку	Характеристики полуцеллюлозы				
			Фракция щепы		Опилки		В, %	L, м	П, кПа	СМТ, Н	R, мН
	Хвойная	Лиственничная	Нормальная	Мелкая							
1	-	100,0	100	-	-	3,8	83,6	5 700	328	260	1020
2	-	100,0	100	-	-	9,1	77,1	6250	412	270	1120
3	-	100,0	100	-	-	14,1	71,6	7550	461	315	1140
4	-	100,0	100	-	-	19,2	67,7	7750	559	310	1300
5	14,1	85,9	100	-	-	3,2	87,5	4900	323	190	1100
6	14,1	85,9	100	-	-	8,0	83,5	5650	372	223	1340
7	14,1	85,9	100	-	-	12,9	75,2	6500	450	239	1420
8	14,1	85,9	100	-	-	17,7	71,7	6650	480	270	1510
9	14,1	85,9	85	10	5	3,2	86,5	5850	338	203	1160
10	14,1	85,9	85	10	5	12,9	79,4	7300	451	238	1100
11	-	100,0	80	20	-	12,9	77,7	7900	539	283	960
12	-	100,0	85	10	5	12,8	78,2	8350	529	251	980





Таблица 6

## Варки НСПЦ на зеленом щелоке

Поряд- ковый номер варки	Массовая доля щелока в варочном растворе, %		Расход химикатов на варку	Характеристики полуцеллюлозы				
	зеленого	белого		В, %	L, м	П, кПа	СМТ, Н	R, мН
1	100	-	12	81,2	7400	480	300	900
2	100	-	14	79,8	7700	505	290	860
3	20	80	14	76,7	6750	505	290	1180
4	80	20	14	78,9	6300	450	280	1100

расхода химикатов снижает выход полуцеллюлозы на 17 %. Все механические показатели, за исключением сопротивления плоскостному сжатию, с ростом расхода щелочи увеличиваются. Сопротивление плоскостному сжатию повышается до 315 Н при расходе химикатов 14,1 % в ед.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , дальнейшее увеличение расхода химикатов приводит к снижению этого показателя. Увеличение в составе щепы содержания мелкой фракции и опилок при повышении расхода химикатов отражается на выходе продукта: он снижается на 11 %. Все механические показатели, за исключением сопротивления раздиранию, которое снижается на 20 %, возрастают.

Варки на зеленом щелоке и на смеси зеленого и белого щелоков (табл. 6) проводили с изменением расхода химикатов от 12 до 14 % при стабилизации остальных параметров. Соотношение зеленого и белого щелоков равно 1:4 и 4:1. Конечная температура 175 °С. Анализ результатов варок показал, что с увеличением расхода химикатов снижается сопротивление плоскостному сжатию.

При варке на смеси зеленого и белого щелоков увеличение доли последнего способствует росту разрывной длины (с 6300 до 6750 м) и сопротивления плоскостному сжатию (от 280 до 290 Н).

*Выводы*

1. Для производства нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы предпочтительнее использовать листовенную древесину. Добавка хвойной древесины ухудшает механические свойства полуцеллюлозы, но добавка белого щелока к моносulфитному смягчает отрицательное влияние добавки хвойной древесины, что позволяет увеличить ее долю в композиции.

2. При повышенном расходе химикатов (14 %) и продолжительности стоянки на конечной температуре 25 мин получена полуцеллюлоза с наибольшим выходом (88,8 %). Механические показатели полученного полуфабриката соответствуют требуемым значениям, за исключением сопротивления плоскостному сжатию.

3. Полуфабрикат с наибольшим значением сопротивления плоскостному сжатию получен при варке на моносulфите с добавкой 40 % белого щелока. Показатель сопротивления плоскостному сжатию зависит от породного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галеева Н.А.* Производство полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 320 с.
2. *Перекальский Н.П., Галеева Н.А.* Производство полуцеллюлозы. – М: Гослесбумиздат, 1963. – 14 с.

Архангельский государственный  
технический университет

ОАО «Архангельский целлюлозно-  
бумажный комбинат»

Поступила 15.01.02

*E.V. Djakova, L.A. Milovidova, V.I. Komarov*

**Influence of Different Modifications of Neutral-sulfite Cooking on  
Physical-and-mechanical Properties of Semicheical Pulp**

Hardwood is found out to be more preferable for producing neutral-sulfite semicheical pulp. Cooking at increased values of chemical charge and duration of hauling with final temperature allows to produce semicheical pulp with the biggest output. Semifinished product with maximum characteristics of hardness (resistance to plane compression) is produced at pulp cooking with 40% degree of monosulfite substitution by white liquor.



УДК 676.1.022.1:668.743.54.

*А.В. Вураско, А.-В. К. Жвирблите, А.Я. Агеев,  
С.Ю. Меньшиков, Н.В. Сухинина*

Вураско Алеся Валерьевна родилась в 1965 г., окончила в 1988 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры химии древесины и технологии ЦБП Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 47 печатных трудов в области каталитического окисления органических соединений и каталитической варки древесины.



Жвирблите Аушре-Бенедикта Казю родилась в 1944 г., окончила Уральский лесотехнический институт, доцент кафедры химии древесины и технологии ЦБП Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 85 печатных трудов в области производства и переработки бумаги, химии древесины и целлюлозы.



Агеев Аркадий Яковлевич родился в 1936 г., окончил в 1966 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, действительный член Уральского отделения наук о лесе АЕН, заведующий кафедрой химии древесины и технологии ЦБП Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 250 печатных трудов в области реологии волокнистых суспензий, теории и технологии бумагоподобных материалов.



Меньшиков Сергей Юрьевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Уральский государственный университет, научный сотрудник Института органического синтеза УрО РАН. Имеет более 50 печатных трудов в области каталитического окисления органических соединений.



### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ АНТРАХИНОНА ПРИ НАТРОННОЙ ВАРКЕ ДРЕВЕ- СИНЫ БЕРЕЗЫ. 1. ВЛИЯНИЕ АНТРАХИНОНА НА ЛИГНОУГЛЕВОДНЫЙ КОМПЛЕКС**

Изучено каталитическое действие антрахинона на полиозный комплекс древесины березы при натронной и натронно-антрахинонной варках.

целлюлоза, антрахинон, натронная варка, пентозаны, полиозы, лигнин.

Увеличение объема производства целлюлозы и истощение запасов хвойной древесины обуславливают необходимость использования в качестве технологического сырья лиственных пород. Наибольший интерес для переработки на целлюлозу представляет береза благодаря распространенности, высоким показателям механической прочности и хорошим бумагообразующим свойствам получаемых из нее полуфабрикатов. Особенностью лиственной древесины является сложное строение лигнина, который содержит большое количество метоксильных групп, взаимодействующих с сульфатными варочными компонентами с образованием метилсернистых соединений. С точки зрения уменьшения вредных дурнопахнущих сернистых выбросов и стоков, а также получения полуфабрикатов с высокими показателями механической прочности и хорошим качеством, представляет интерес натронно-антрахинонный способ производства целлюлозы из древесины березы.

Основной причиной потерь холоцеллюлозы при делигнификации в щелочной среде является деполимеризация полисахаридов, или реакция «reeling» [4]. Особенно подвержена деполимеризации холоцеллюлоза лиственных пород древесины, которая имеет сложное по строению комплекс лигнина и относительно короткие макромолекулы полисахаридов. Росту скорости процесса деполимеризации способствует увеличение концентрации гидроксида натрия, температуры и продолжительности.

Для данного исследования была выбрана береза пушистая, которая является представительницей лиственных пород на Среднем Урале. Древесина ее имеет следующий состав, %: целлюлоза – 46,00; лигнин – 18,80; пентозаны – 24,30; вещества, растворимые в горячей воде – 2,93; смолы и жиры – 2,85; зола – 0,47. Щепу сортировали для удаления мелочи, фракции крупного размера, сучков и коры.

Варки проводили в автоклаве с воздушным обогревом. Навеску щепы массой 53 г абс. сухой древесины загружали в пеналы, заливали раствором гидроксида натрия в соответствии с гидромодулем. При каталитической варке к раствору NaOH добавляли дисперсию антрахинона [1, 2]. Используемый в работе антрахинон получен в лабораторных условиях, содержание основного продукта 95 %. Процесс варки осуществляли с использованием программирования температуры. Варку проводили при следующих условиях: расход активной щелочи от абс. сухой древесины 18 и 20 % (в ед. Na<sub>2</sub>O); гидромодуль 4,5; расход антрахинона 0,1 % от абс. сухой древесины; максимальная температура варки 175 °С; время достижения максимальной температуры 90 мин.

После варки древесный остаток промывали в сееже до нейтрального элюата, сортировали и определяли выход. Древесный остаток анализировали на следующие показатели: степень делигнификации (ГОСТ 10070–74), содержание α-целлюлозы (ГОСТ 6840–78) и пентозанов (TAPPI–223 OS-62) [5], средняя степень полимеризации (ГОСТ 6840–74). В ходе эксперимента в

черном щелоке определяли содержание эффективной щелочи по методу Кульгрена [3].

При использовании антрахинона (в количестве 0,1 % от абс. сухой древесины) по сравнению с некаталитической варкой повышается избирательность процесса делигнификации и увеличивается выход древесного остатка (рис. 1) при одинаковом содержании остаточного лигнина: на 2,8 ... 1,0 % и 2,9 ... 1,5 % при расходе активной щелочи соответственно 18 и 20 %. Следовательно, за счет селективного удаления лигнина

Рис. 1. Зависимость выхода древесного остатка от содержания остаточного лигнина при варке в присутствии антрахинона (1, 2) и без него (3, 4) с расходом активной щелочи 18 (1, 3) и 20 % от абс. сухой древесины (2, 4)

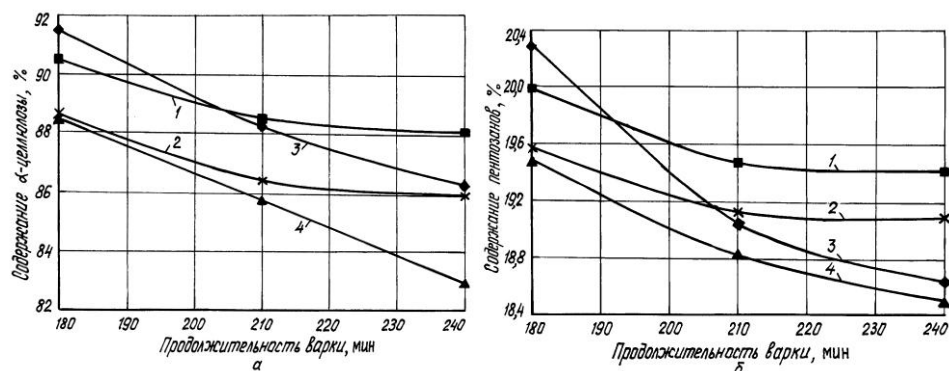
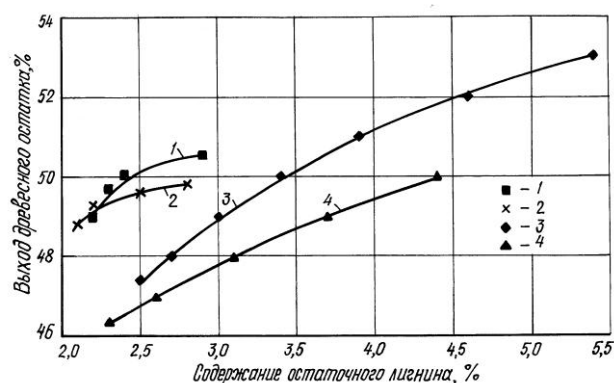


Рис. 2. Зависимость содержания α-целлюлозы (а) и пентозанов в целлюлозе (б) от продолжительности варки (см. обозначения на рис. 1)

углеводный комплекс древесины в меньшей степени подвергается деструкции. В частности, анализ (рис. 2, а) показал, что в древесном остатке, который получен каталитическим способом, α-целлюлозы содержится на 3 ... 4 % больше, чем при некаталитической варке с равным содержанием лигнина. Зависимость содержания α-целлюлозы  $y$  от содержания остаточного лигнина  $x$  при расходе активной щелочи соответственно 18 и 20 % можно выразить следующими уравнениями:

для некаталитической варки

$$y = 3,9302x + 77,655 \text{ (достоверность аппроксимации } R^2 = 0,9982);$$

$$y = 2,6477x + 76,969 \quad (R^2 = 0,9926);$$

для варки с катализатором

$$y = 3,4884x + 80,395 \quad (R^2 = 0,9967);$$

$$y = 1,8838x + 81,548 \quad (R^2 = 0,9926).$$

Повышение выхода целлюлозы при одном и том же содержании остаточного лигнина объясняется также сохранением полиозного комплекса, в частности пентозанов (рис. 2, б). Зависимость содержания пентозанов  $y$  от содержания остаточного лигнина  $x$  в древесном остатке при расходе активной щелочи 18 и 20 % можно представить следующими уравнениями:

для некаталитической варки

$$y = 0,6011x + 17,078 \quad (R^2 = 0,9930);$$

$$y = 0,4712x + 17,378 \quad (R^2 = 0,9967);$$

для каталитической варки

$$y = 0,8358x + 17,56 \quad (R^2 = 0,9986);$$

$$y = 0,7137x + 17,569 \quad (R^2 = 0,9957).$$

Из представленных зависимостей следует, что при каталитической варке содержание пентозанов выше (при одинаковом содержании остаточного лигнина), чем при варке без катализатора (при любом исследуемом расходе активной щелочи).

Как было отмечено выше, основной причиной потерь в процессе получения натронной целлюлозы является реакция расщепления углеводной



Рис. 3. Зависимость содержания эффективной щелочи в черном щелоке от содержания остаточного лигнина в древесном остатке (см. обозначения на рис. 1)

цепи целлюлозы и гемицеллюлоз, в результате которой образуются органические кислоты. На нейтрализацию этих кислот расходуются гидроксид-ионы, находящиеся в варочном щелоке, что приводит к снижению концентрации эффективной щелочи. Следовательно, благодаря уменьшению деструкции углеводной цепи снижается расход активной щелочи при достижении одной и той же степени делигнификации. На рис. 3 представлена связь между содержанием эффективной щелочи в черном щелоке и остаточного лигнина в древесном остатке. По этим результатам можно определить до-

полнительный расход оставшейся эффективной щелочи, которая не потрагилась на взаимодействие с органическими кислотами, образующимися при расщеплении углеводов. При натронной варке с антрахиноном содержание эффективной щелочи выше по сравнению с некаталитической варкой. Это справедливо как для расхода щелочи 18 %, так и 20 %.

На один процент удаленного лигнина сохраняется эффективной щелочи при каталитической варке больше, чем без катализатора при любом исследуемом расходе активной щелочи.

Согласно Ю.Н. Непенину [4], более высокий выход целлюлозы при натронно-антрахинонной варке обусловлен преимущественно сохранением (от расхода) ксилана. Отсюда по разнице в остатке эффективной щелочи между натронной и натронно-антрахинонной варками можно рассчитать количество ксилана, защищенного от реакции расщепления [6].

Между количеством сохраненного ксилана  $y$  и содержанием остаточного лигнина в целлюлозе  $x$  наблюдается линейная зависимость, которую при расходе активной щелочи 18 и 20 % можно выразить следующими уравнениями:

$$y = 0,617x + 0,0513 \quad (R^2 = 0,9922);$$

$$y = 0,763x - 0,7517 \quad (R^2 = 0,9976).$$

Известно [4], что выход может быть повышен за счет повторного осаждения растворенных углеводов (в нашем случае это ксилан) на поверх-

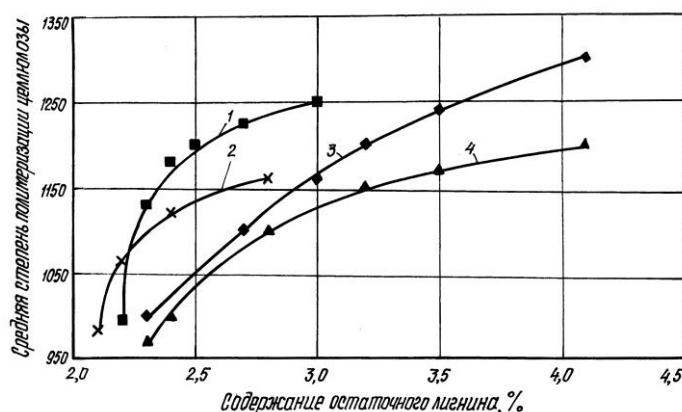


Рис. 4. Зависимость средней степени полимеризации целлюлозы от содержания в ней остаточного лигнина (см. обозначения на рис. 1)

ности целлюлозных волокон. Растворенный ксилан может переосаждаться как на макромолекулах  $\alpha$ -целлюлозы, так и на полиозном комплексе. При этом увеличивается средняя степень полимеризации макромолекул целлюлозы по сравнению с некаталитической варкой, что наглядно представлено на рис. 4.

Однако при повышенном содержании эффективной щелочи в черном щелоке скорость осаждения растворенных углеводов уменьшается [7]. Возможно, высокая концентрация эффективной щелочи при каталитической

варке приведет к снижению активности переосаждения ксилана и, соответственно, общего выхода целлюлозы. Предотвратить подобные потери можно путем сокращения расхода активной щелочи при каталитической варке, что не скажется на скорости делигнификации, поскольку натронно-антрахинонная варка протекает быстрее традиционного процесса натронной варки. По нашему мнению, в первую очередь необходимо защитить углеводы от реакции «reeling», а затем создать условия для более полного осаждения растворенных углеводов, достигнув при этом большего выхода и лучшего качества целлюлозного полуфабриката.

Повышение расхода активной щелочи на 2 % (при прочих равных условиях) при некаталитической варке снижает содержание лигнина в древесном остатке на 1,5 ... 0,2 % и выход целлюлозы на 1,0 ... 1,5 %, при каталитической варке – соответственно на 0,1 и 0,5 ... 1,0 %. При увеличении расхода активной щелочи отмечено некоторое снижение избирательности процесса.

Увеличение продолжительности варки на 30 мин уменьшает выход древесного остатка для некаталитической и каталитической варок соответственно на 1,0 ... 3,0 % и 0,4 ... 1,5 %. Аналогичное происходит и с содержанием остаточного лигнина: на 2,5 ... 0,7 и 0,6 ... 0,1 %.

По эффективности влияния на растворение лигнина добавка антрахинона в количестве 0,1 % от абс. сухой древесины эквивалентна увеличению расхода щелочи на 2 % и продолжительности варки на 30 мин. При это значительно снижается количество непровара, что повышает выход отсортированной целлюлозы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вураско А.В., Меньшиков С.Ю., Агеев А.Я. Исследование реологических свойств дисперсной системы щелок-ПАВ-антрахинон // Сб. науч. тр./ УГЛТА. – Екатеринбург, 2000. – С. 138–143.
2. Использование ПАВ для ввода антрахинонсодержащих катализаторов в варочный процесс / А.В. Вураско, Е.А. Мозырева, А.Я. Агеев и др. // Лесн. журн. – 1996. – №1-2. – С. 35–38. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Комишилов Н.Ф. Сульфатный черный щелок и его использование. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 184 с.
4. Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. В 2 т. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – Т. 2: Производство сульфатной целлюлозы. – 600 с.
5. Оболенская А.В. и др. Практические работы по химии древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 411 с.
6. Synergistic effect of kraft pulping with polysulphide and anthraquinone on pulp yield improvement / Z. Li, M. Ma, G.J. Kubes, J. Li // J. Pulp and Pap. Sci. – 1998. – 24, N 8. – P. 273–241.
7. Meller A. Die Adsorption von Xylan bei Alkalikochung // Holzfor schung. – 1965. – Bd. 19, N. 4. – S. 118–124.

Уральский государственный лесотехнический университет  
Институт органического синтеза УрО РАН



Поступила 25.06.02

*A.V. Vurasko, A.-V. K. Zhvirblite, A.Ya. Ageev,  
S. Yu. Menshikov, N.V. Sukhinina*

**Study of Anthraquinone Effect under Alkaline Pulping  
of Birch Wood. 1. Influence of Anthraquinone on Lignocarbonhydrate  
Complex.**

The catalytic effect of anthraquinone on polyose complex of birch wood has been studied under alkaline and alkaline-anthraquinone pulping.

УДК 630\*813.11

***О.А. Самылова, А.М. Айзенштадт, К.Г. Боголицын,  
М.В. Богданов, Д.Г. Чухчин, Ю.Г. Морозова***

Самылова Ольга Александровна родилась в 1975 г., окончила в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, младший научный сотрудник НИИХ и ХТД АГТУ, аспирантка кафедры теоретической и прикладной химии. Имеет 3 научные работы в области физико-химии растительных полимеров.



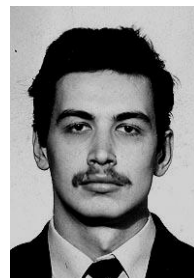
Айзенштадт Аркадий Михайлович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 печатных трудов в области теории растворов и физикохимии полимеров.



Богданов Михаил Владимирович родился в 1964 г., окончил в 1986 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных трудов в области теории растворов и физикохимии полимеров.



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 20 печатных работ в области химической переработки древесины.



## ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ХВОЙНЫХ МАЛОИЗМЕНЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ЛИГНИНА В ВОДНО-ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ\*

Потенциометрическим методом установлено, что на реакционную способность малоизмененных препаратов лигнинов (ДЛС и ЛМРС) в водно-щелочной среде оказывает большое влияние их макромолекулярное свойство (молекулярная масса); определен характер зависимости; получен «эффективный» потенциал структурной единицы препарата малоизмененного лигнина в водно-щелочной среде.

оксредметрия, эффективный потенциал, редокс-свойства, реакционная способность, фенольный гидроксил, лигнин механического размола сосновый (ЛМРС), диоксанлигнин сосны (ДЛС), фенилпропановая структурная единица.

Способность вещества вступать в химическое взаимодействие согласно классическим законам термодинамики [13] характеризуется химическим сродством, причем мера такого сродства – изменение изобарно-изотермического потенциала  $\Delta G$ . Данный параметр объясняет возможность протекания химических реакций и состояние химического равновесия в системе. Известно, что изменение энергии Гиббса в процессе химического взаимодействия является функцией состояния реагирующих веществ и позволяет оценить их реакционную способность, т.е. способность подвергаться химическим превращениям. Вышеизложенное в полной мере относится и к окислительно-восстановительным взаимодействиям, поскольку параметры  $\Delta G$  и окислительный потенциал  $E$  взаимосвязаны [7]:

$$\Delta G = -zFE,$$

где  $z$  – число электронов, участвующих в редокс-взаимодействии;

$F$  – число Фарадея [7].

Данный факт делает предпочтительным применение оксредметрии для оценки реакционной способности вещества в редокс-взаимодействиях.

Развитие теоретических основ этого метода применительно к химии древесины позволяет определить основной физико-химический параметр редокс-состояния полимера – «эффективный» потенциал, который, как показывают исследования [1], является функцией строения органического субстрата и критерием его реакционной способности в реакциях окисления-восстановления. Данный вывод был сделан на основе исследования реакционной способности модельных соединений структурного звена лигнина. Авторы [10], определившие этот параметр и для препаратов лигнина, отмечают, что на величину «эффективного» потенциала полимерного редоксита влияет породный состав древесины, способ выделения препарата, макромолекулярные свойства (молекулярная масса, молекулярно-массовое распределение).

---

\* Статья написана по результатам работ, выполняемых по проекту № 02-03-97502 «Влияние природы растворителя на макромолекулярные свойства и реакционную способность лигнинных полимеров», финансируемых Российским фондом фундаментальных исследований.

Цель данной работы – установить характер зависимости между макромолекулярными свойствами (молекулярной массой) и «эффективным» потенциалом для хвойного лигнина Бьеркмана – лигнина механического размола сосны (ЛМРС) и диоксанлигнина сосны (ДЛС).

Одной из отличительных особенностей препаратов лигнина от их мономолекулярных модельных соединений, используемых различными авторами при изучении механизма химических превращений, является неоднозначность поведения его макромолекул в растворе. Было замечено, что размер частиц лигнина в растворе меняется в зависимости от используемого растворителя, т.е. макромолекулы лигнина способны к конформации [8]. В работах [9, 14] отмечено, что макромолекулы растворимых лигнинов представляют собой глобулярные частицы типа компактного микрогеля с поперечными связями, в которые не проникает растворитель, но способные к ограниченному набуханию. Сетчатая структура лигнина усиливается внутримолекулярными и межмолекулярными водородными связями, образующимися между различными функциональными группами (фенольные и спиртовые гидроксилы, карбонильные и карбоксильные группы). Образование в молекуле лигнина водородных связей может привести к существованию некоторой микрзоны, проникновение растворителя (или реагента) в которую затруднено.

Как было отмечено нами ранее [1, 10], активным центром в реакциях окисления-восстановления лигнинных веществ является ионизированный под действием растворителя фенольный гидроксил. Поэтому важным условием при подготовке образца лигнина к редокс-взаимодействиям служит выдерживание препарата в соответствующем растворителе для разрыва внутримолекулярных водородных связей под действием, например, щелочи с одновременной ионизацией высвобождающихся групп и последующим электростатическим набуханием полимера. Методом УФ спектроскопии нами определено, что оптимальное время выдерживания образцов в системе лигнин – щелочь составляет 24 ч (оптическая плотность максимумов полос поглощения препаратов ЛМРС и ДЛС в водно-щелочной среде через данный временной интервал стабилизируется). Также значительно влияет на реакционную способность лигнина величина рК препарата. Данный параметр должен обеспечить возможность более полной ионизации высвободившихся фенольных гидроксильных групп, т. е. необходимо соблюдать условия – рН реакционной среды много больше рК. При исследовании различных препаратов лигнина [15, 16], отмечено, что величина рК для них приблизительно равна 10, причем при варьировании среднemasсовой молекулярной массы  $\bar{M}_w$  от 22 000 до 116 000 а.е.м. она может измениться на две единицы за счет электростатического эффекта. С учетом этого факта наименьшая концентрация щелочи, используемой в качестве растворителя, должна быть не менее 0,01 моль/л (рН 11,9).

### Экспериментальная часть

ЛМРС получен механическим размолотом в толуоле на вибрационной мельнице в течение 24 ч с последующей экстракцией в системе диоксан – вода (96 : 4) в течение 1000 ч. Исходный препарат подвергнут фракционированию на 9 фракций методом дробного осаждения в системе диоксан–бензол.

ДЛС выделен из древесных опилок при нагревании до температуры 90 ... 100 °С в токе азота (продолжительность 4 ч) в системе вода – диоксан (1 : 9) и присутствии 0,21 ... 0,23 н HCl. Диоксанлигнин-сырец очищен переосаждением из диоксана в диэтиловый эфир. Методом дробного осаждения исходного препарата в системе диоксан – бензол получено 8 фракций.

ЛМРС и ДЛС охарактеризованы по элементному и функциональному составу по общепринятым методикам [6] (табл. 1). Рассчитано содержание фенольных гидроксильных групп в каждой фракции для ДЛС и ЛМРС Δε-методом (табл. 2), который основан на использовании в УФ-спектроскопии свойства спектральных полос фенольных соединений bathochromно смещаться при ионизации фенольных гидроксильных групп [6].

Таблица 1

#### Функциональный и элементный состав (%) препаратов лигнина

Препарат	ОСН <sub>3</sub> <sup>-</sup>	СООН-	НСО	ОН <sub>фен.</sub>	С	Н
ЛМРС	13,2	1,4	4,6	3,0	62,5	6,0
ДЛС	14,2	0,6	5,4	3,7	60,1	7,6

Таблица 2

#### Характеристика фракций препаратов ЛМРС и ДЛС и их эффективные потенциалы

Препарат	Порядковый номер фракции	$\bar{M}_w$	ОН <sub>фен.(общ.)</sub> , %	$\Delta E_p$	$E_0^*$
				мВ	
ЛМРС	1	11 800	2,47	23	853
	2	11 300	2,46	22	852
	3	8 600	2,50	26	843
	4	7 900	2,56	28	840
	5	3 700	2,66	29	836
	6	3 800	2,82	29	835
	7	2 600	2,80	30	826
	8	1 800	2,99	34	814
ДЛС	9	1 200	3,17	42	805
	1	13 200	2,35	10	878
	2	11 600	2,64	11	881
	3	10 900	2,69	12	879
	4	9 200	2,93	15	871
	5	6 700	3,11	20	863
	6	5 700	3,23	25	840
	7	4 900	3,42	29	842
	8	3 700	3,72	35	832

Примечание. Погрешности определения  $\bar{M}_w$ , ОН<sub>фен.(общ.)</sub>,  $\Delta E_p$ ,  $E_0^*$  соответственно равны 100; 0,1 %; 1 мВ; 5 мВ.

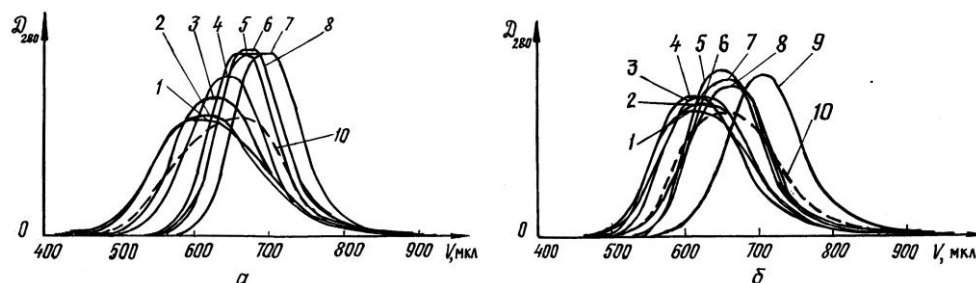


Рис. 1. Хроматограммы препаратов ДЛС (а) и ЛМРС (б): 1 – 9 – фракции препаратов, 10 – исходный образец

Для выделенных образцов малоизмененных хвойных препаратов и их фракций методами ультрацентрифугирования и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [12] определены молекулярно-массовые характеристики ( $\overline{M}_w, \overline{M}_n, \overline{M}_z, \overline{M}_v$ ). Среднемассовые молекулярные массы\* ЛМРС и ДЛС получены методом седиментационных скоростей и использованы для расчета коэффициента распределения  $K_d$  между подвижной и неподвижной фазами при хроматографическом анализе, а также ММ и ММР каждой фракции ЛМРС и ДЛС. Хроматограммы исследуемых образцов и фракций хвойных препаратов ЛМРС и ДЛС приведены на рис. 1. Вид полученных хроматограмм свидетельствует об относительной монодисперсности фракций. Значения  $\overline{M}_w$  представлены в табл. 2. Для ВЭЖХ препаратов лигнина использован хроматограф «Милихром-4». Эффективность хроматографической колонки, упакованной гелем, составила 2700 теоретических тарелок, продолжительность одного анализа 20 мин, ошибка определения параметров удерживания менее 0,5 %. Для подавления адсорбционных и полиэлектролитных эффектов элюент имел следующий состав: ДМФА + 5 % ледяной уксусной кислоты + 1 % LiCl. Анализ для всех образцов лигнина проведен при длине волны 280 нм, объем пробы составил 2 мкл, скорость подачи элюента 50 мкл/мин, концентрация лигнина в пробе 0,1 %.

Величины равновесных потенциалов определены потенциометрическим методом. При этом соблюдены следующие условия: медиатор (окислительно-восстановительная система (ОВС) – ферроцианид/феррицианид калия;  $[Ox]_0 = 1 \cdot 10^{-3}$  моль/л;  $C_{Ox} : C_{Red} = 100 : 1$ ;  $[ЛМРС]_0 = [ДЛС]_0 = 2,0$  г/л; растворитель – 0,01М NaOH (pH 11,9); начальный объем ОВС-медиатора – 100 мл; объем вводимых в раствор ОВС препаратов ЛМРС и ДЛС – 1мл; температура  $t = (25 \pm 0,1)$  °С; предварительное выдерживание исходных образцов лигнина в 0,01М NaOH в течение 24 ч.

Реагенты после смешивания помещали в стеклянную термостатированную ячейку, при постоянном перемешивании раствора фиксировали на-

\* Определены в Институте химии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар.

чальное значение потенциала медиатора  $E_{\tau=0}$ . После этого добавляли 1 мл исследуемого раствора лигнина, через определенные промежутки времени записывали значение потенциала смеси до достижения им практически постоянного значения (через 50 ... 60 мин). Далее определяли параметр  $\Delta E = E_{\tau=0} - E_{\tau}$ . На основании полученных данных была построена зависимость вида  $E = f(1/\tau)$ , путем ее экстраполяции на  $1/\tau \rightarrow 0$  определены величины равновесных потенциалов.

Расчет равновесных концентраций окисленной и восстановленной ( $Ox_{\tau}$ - и  $Red_{\tau}$ -) форм осуществлен по величине  $\Delta E$ . В расчетах учтено разбавление пробы лигнина. Равновесные концентрации  $Ox$ - и  $Red$ -форм препарата ЛМРС рассчитаны по содержанию в нем фенольных гидроксильных групп с учетом порядков реакций, установленных при исследовании кинетики окисления модельных соединений структурного звена лигнина ( $n_{Ox} = 2$ ,  $n_{орг.в-ва} = 1$ ) [5]. Концентрации  $Ox$ - и  $Red$ -форм лигнинной макромолекулы рассчитаны из следующих соотношений:

$$[Ox]_0 - X = [Ox]_p; [ArO^+] = X/2; [ArOH] = [ArOH]_0 - [ArO^+]$$

где  $[Ox]_0$  – исходная концентрация окисленной формы ОВС- медиатора, моль/л;

$[Ox]_p$  – концентрация окисленной формы ОВС в момент равновесия, моль/л;

$X$  – изменение концентрации  $Ox$ -формы ОВС с момента ввода органического субстрата до момента равновесия, моль/л;

$[ArOH]_0$  – исходная концентрация фенольных ОН-групп в реакционной среде, моль/л.

«Эффективный» потенциал  $E_0^*$  для препаратов лигнина получен по уравнению, которое использовали для расчета  $E_0^*$  модельных соединений [1]:

$$E'_0 = E_0 + \frac{2,3RT}{nF} \lg \frac{[Ox]_p^2 \gamma_{Ox}^2 [ArOH]}{[Red]_p^2 \gamma_{Red}^2 [ArO^+][H^+]}$$

где  $E_0$  – стандартный окислительный потенциал ОВС, В;

$R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К);

$T$  – абсолютная температура, К;

$F$  – число Фарадея;

$n$  – число электронов, участвующих в реакции;

$[Ox]_p$ ,  $[Red]_p$  – концентрация  $Ox$ - и  $Red$ -форм ОВС в момент равновесия, моль/л;

$\gamma_{Ox}$ ,  $\gamma_{Red}$  – коэффициенты активности окисленной и восстановленной форм ОВС;

$[ArOH]$ ,  $[ArO^+]$  – концентрация органического субстрата (препарата ЛМРС) в  $Red$ - и  $Ox$ -форме, моль/л;

$[H^+]$  – концентрация ионов водорода, моль/л.

Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

## Обсуждение результатов

При исследовании хвойных препаратов ЛМРС и ДЛС в водно-щелочной среде авторами [10] отмечено увеличение эффективного потенциала (уменьшение реакционной способности) с возрастанием  $\bar{M}_w$ . По результатам проведенных нами экспериментов установлено, что зависимость  $E_0^* = f(\bar{M}_w)$  для относительно низкомолекулярных фракций двух препаратов имеет общий характер (рис. 2, а). Однако влияние макромолекулярных свойств (молекулярной массы) полимера на реакционную способность для высокомолекулярных фракций ЛМРС и ДЛС различно. Абсолютная величина эффективного потенциала в обоих случаях стремится к постоянному значению, однако она заметно ниже у ЛМРС, чем у ДЛС (разница около 20 мВ), что свидетельствует о большей реакционной активности в редокс-взаимодействиях первого препарата. Следовательно, макромолекула ЛМРС в водно-щелочной среде имеет более открытую с точки зрения реакционных центров структуру, чем макромолекула ДЛС.

Дополнительным подтверждением предположения о влиянии макроструктуры на реакционную способность препарата могут являться

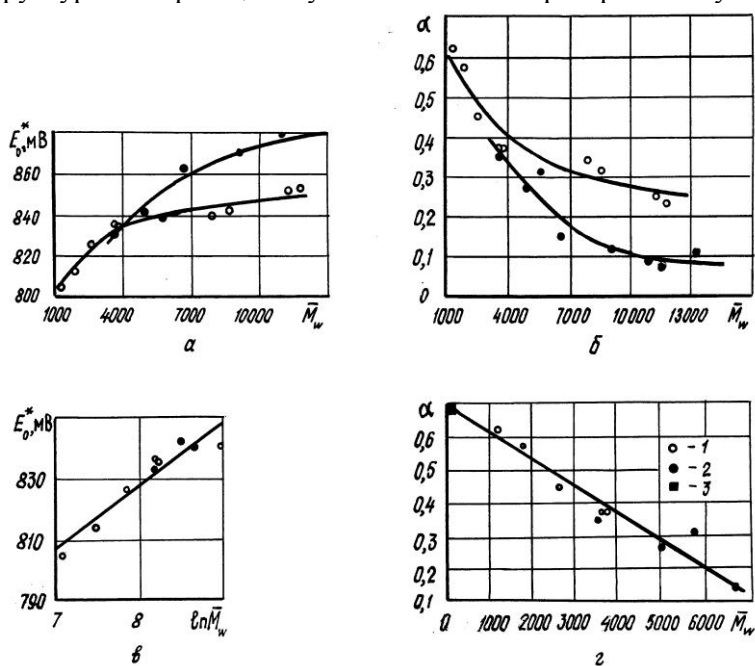


Рис. 2. Влияние макромолекулярных свойств лигнина на эффективный потенциал: а –  $E_0^* = f(\bar{M}_w)$ ; б, в –  $\alpha = f(\bar{M}_w)$ ; г –  $E_0^* = f(\ln \bar{M}_w)$ ; 1 – ЛМРС, 2 – ДЛС, 3 –  $\alpha$ -гваяцил-пропанон



результаты, представленные на рис. 2, б. Действительно, как отмечено выше, окислительно-восстановительное взаимодействие модельных соединений структурного звена лигнина с ОВС протекает с обязательным участием фенольного гидроксила. Однако доля  $\alpha$   $\left( \frac{\text{ОН}_{\text{фен. прореаг.}}}{\text{ОН}_{\text{фен.}}} \right)$  фенольных гид-

роксильных групп, расходуемых на редокс-взаимодействие, в значительной степени зависит от макромолекулярных свойств (молекулярной массы) полимера и уменьшается с увеличением последней.

Это можно объяснить тем, что значительный отрицательный заряд на поверхности макроиона, возникающий в результате ионизации растворителем внешних фенольных гидроксильных групп, экранирует расположенные в более глубоких слоях макромолекулы реакционные центры и отталкивает одноименно заряженные ионы окислителя. Однако энергетический электростатический барьер макромолекулы понижается за счет присутствия противоионов низкомолекулярного электролита (ОВС) в растворе [15]. Возникает так называемый мостиковый эффект [3], за счет которого и происходит редокс-взаимодействие низкомолекулярных фракций. Однако с увеличением параметра  $\bar{M}_w$  экранирующее действие внешних фенольных гидроксильных групп значительно возрастает. Присутствующие противоионы не способны полностью компенсировать поверхностный заряд, что приводит к уменьшению реакционной активности препарата.

Расчет  $\text{ОН}_{\text{прореаг.}}$  осуществляли с учетом кинетических параметров реакции, установленных при изучении механизма этого процесса [1]. Например, для первой фракции ЛМРС содержание  $[\text{ОН}_{\text{фен.}}] = (2,47 \pm 0,10) \%$ ;  $[\text{ОН}_{\text{фен. исх.}}]_0 = 3 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $[\text{ОН}_{\text{фен. прореаг.}}] = ([\text{Оx}]_0 - [\text{Оx}]_p) / 2 = 7 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Поэтому  $\alpha = 0,233$ .

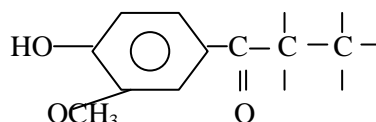
На рис. 2, в представлена функциональная зависимость вида  $E_0^* = f(\ln \bar{M}_w)$  для фракций исследуемых препаратов с  $\bar{M}_w < 8000$  а.е.м., которая имеет линейный характер с высоким значением коэффициента корреляции (0,97). Математически данная зависимость выражается уравнением

$$E_0^* = 21,0 \ln \bar{M}_w + 662 .$$

Согласно литературным данным [4], молекулярная масса одной фенилпропановой структурной единицы малоизмененного хвойного лигнина ( $\text{C}_9\text{H}_{8,83}\text{O}_{2,37}(\text{ОСН}_3)_{0,96}$ ) равна 184,51 а.е.м.. Экстраполяция этой зависимости на данную  $\bar{M}_w$  позволяет определить «эффективный» потенциал структурной единицы малоизмененного лигнина в водно-щелочной среде, который равен 772 мВ. Сравнение полученной величины  $E_0^*$  со значениями «эффективных» потенциалов и молекулярных масс модельных соединений структурного звена лигнина [2] показало, что наиболее близкие значения данных параметров имеет  $\alpha$ -гваяцилпропанон  $\text{C}_9\text{H}_9\text{O}_2(\text{ОСН}_3)$ :  $E_0^* = (783 \pm 5)$  мВ,  $M = 180$  а.е.м. Этот вывод также согласуется с результатами сопоставления

доли расходуемых фенольных гидроксильных групп в реакции окисления в данном эксперименте для относительно низкомолекулярных фракций исследуемых образцов и рассчитанного аналогичного параметра для  $\alpha$ -гваяцилпропанона по данным [1] (рис. 2, з).

Дополнительным подтверждением строения структурной единицы исследуемых препаратов лигнина после суточного выдерживания в водно-щелочной среде могут служить записанные нами электронные спектры поглощения, имеющие полосы при длине волны 255, 275, 340 нм. Согласно данным [11], наличие максимумов поглощения в области от 250 до 350 нм в щелочном растворе лигнина характерно для гваяцилпропановых структур следующего строения:



#### Выводы

1. Установлено, что на редокс-свойства препаратов ЛМРС и ДЛС в водно-щелочной среде большое влияние оказывает их макромолекулярные свойства (молекулярная масса). Определен характер данной зависимости.
2. Экранирующее влияние макроструктуры на активность реакционных центров в большей степени проявляется для ДЛС.
3. Численное значение эффективного потенциала структурной единицы препарата малоизмененного лигнина составляет 772 мВ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенштадт А.М., Богданов М.В., Боголицын К.Г. Реакционная способность модельных соединений структурного звена лигнина // Лесн. журн. – 1998. – № 2. – С. 83–89. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Айзенштадт А.М. Оксредметрия в химии и химической технологии древесины: Автореф. дисс. ... д-ра хим. наук. – С.-Петербург, 1998. – 40 с.
3. Берсукер И.Б. Электронное строение и свойства координационных соединений: Введение в теорию. – Л.: Химия, 1986. – 286 с.
4. Браунс Ф.Э., Браунс Д.А. Химия лигнина. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 415 с.
5. Бровка О.С., Боголицын К.Г., Айзенштадт А.М. Механизм процесса окисления модельных соединений структурного звена лигнина серноокислым церием // Лесн. журн. – 1993. – № 2-3. – С. 161–165. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Закис Г.Ф., Можейко Л.Н., Тельшева Г.М. Методы определения функциональных групп лигнина. – Рига: Зинатне, 1975. – 176 с.
7. Измайлов Н.А. Электрохимия растворов. – М.: Химия, 1976. – 488 с.
8. Исследование кинетики процесса поглощения щелочи диоксанлигнином / Г.В. Чуйко, Э.И. Чупка, А.В. Оболенская, В.М. Никитин // Химия древесины. – 1971. – № 10. – С. 133–136.

9. Карманов А.П., Монаков Ю.Б. Структура макромолекул лигнина // Высокомолекулярные соединения. – 1996. – Т. 38, № 9. – С. 1631–1642.

10. Оценка реакционной способности препаратов лигнина / А.М. Айзенштадт, М.В. Богданов, К.Г. Боголицын, и др. // Лесн. журн. – 2000. – №5-6. – С. 145–151. – (Изв. высш. учеб. заведений).

11. Сарканен К.В., Людвиг К.Х. Лигнины / Пер. с англ. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 632 с.

12. Соколов О.М., Чухчин Д.Г., Майер Л.В. Высокоэффективная жидкостная хроматография лигнинов // Лесн. журн. – 1998. – № 2-3. – С. 132–136. – (Изв. высш. учеб. заведений).

13. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия / Под ред. А.Г. Стромберга. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1999. – 527 с.

14. Чупка Э.И., Оболенская А.В., Никитин В.М. Влияние внутренней структуры лигнина на некоторые его свойства // Химия древесины. – 1970. – № 5. – С. 53–58.

15. Чупка Э.И., Оболенская А.В., Никитин В.М. Исследование влияния электростатического фактора на кислотность функциональных групп в лигнине // Химия древесины. – 1971. – № 10. – С. 123–127.

16. Штрейс Г.Б., Никитин В.М. Спектрофотометрический метод определения значения рК щелочного и щелочного сульфатного лигнинов и их модельных соединений // Химия древесины. – 1967. – № 8. – С. 1814–1819.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 18.04.02

*O.A. Samylova, A.M. Aisenschadt, K.G. Bogolitsyn, M.V. Bogdanov,  
D.G. Chukhchin, Yu.G. Morozova*

### **Effective Potential of Coniferous Native Lignin Preparations in Aqueous-alkaline Medium**

It was established by potentiometric method that reactivity of lignin native preparations in aqueous-alkaline medium is influenced by their macromolecular nature (molecular mass). The nature of this dependence has been determined, the «effective» potential of structural unit of lignin native preparation in aqueous-alkaline medium has been obtained.

УДК 547.458.7:543.544.42

*С.А. Медведева, Г.П. Александрова, А.П. Танцырев*

## **ГЕЛЬ-ПРОНИКАЮЩАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ АРАБИНОГАЛАКТАНА**

Показано, что арабиногалактан, выделенный из древесины лиственницы сибирской, способен в водной среде к образованию ассоциатов и возможно слабому проявлению полиэлектролитных свойств. Подобраны оптимальные концентрации комплексных систем элюентов, состоящих из фосфорной кислоты и бромистого лития, которые необходимо использовать для подавления полиэлектролитных эффектов и разрушения ассоциатов при определении молекулярной массы арабиногалактана.

арабиногалактан, гель-хроматография, молекулярные массы, полиэлектролитные эффекты.

Арабиногалактан – природный полисахарид растительного происхождения. В значительных количествах (10 ... 15 %) он содержится в древесине лиственницы, которая может служить источником его получения. Арабиногалактан (АГ) имеет очень хорошие перспективы применения, например, в качестве загустителя, стабилизатора, наполнителя, обволакивающего средства [2, 11]. Значительное влияние на качество этого полимера как товарного продукта (от клеящего вещества до медицинских препаратов) оказывает его молекулярная масса.

Основную макромолекулярную цепь АГ лиственницы составляет галактановый кор. Звенья галактозы связаны  $\beta(1-3)$ -связями, а боковые звенья, состоящие из галактозы, арабинозы и небольшого количества глюкуроновой кислоты, –  $\beta(1-6)$ - и  $\beta(1-3)$ -связями [1, 3]. Макромолекула АГ содержит гидроксильные, альдегидные группы, может содержать карбоксильные группы, т.е. она полифункциональна и способна проявлять полиэлектролитные свойства.

Для определения молекулярной массы АГ используют методы светорассеяния, ультрацентрифугирования и, чаще всего, гель-хроматографии. Молекулярная масса АГ, выделенного из различных источников, варьируется в больших пределах (10 ... 2000 кД) [14]. Причиной этого может быть биохимическая специфика источника, из которого выделен АГ. Однако анализ литературных данных свидетельствует о том, что численные значения молекулярных масс одного и того же образца, определенные различными методами, оказываются различными. Так, методом светорассеяния для АГ, выделенного из *Larix occidentalis*, была определена молекулярная масса 40 кД, методом гель-хроматографии – 19 кД [13]. Это вполне оправдано, поскольку гель-хроматография основана на разделении полимеров в соответствии с размерами и формой их молекул, а светорассеяние – на определении интенсивности рассеянного света от угла падающего светового пото-

ка, которая зависит от линейных размеров полимеров цепи, т.е. в основу этих методов заложены разные свойства макромолекулы АГ. Однако и одним методом, например методом гель-хроматографии, для АГ, выделенного из лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), различными исследователями определена масса и в 40 кД [1], и в 18 ... 22 кД [15].

Подобные противоречивые сведения о молекулярной массе АГ послужили причиной настоящего исследования. Для исследования выбран метод гель-хроматографии как наиболее простой и широко используемый. Цель работы – изучить влияние состава элюента на хроматографическое поведение и наблюдаемую молекулярную массу АГ.

АГ выделяли из древесины лиственницы сибирской экстракцией водой. Частично упаренный водный экстракт для очистки АГ дважды пересаждали в этиловый спирт.

В качестве сорбента был выбран сефадекс G-100, так как сорбенты этого типа показали свое преимущество при гель-хроматографии в режиме свободного протекания [5, 9]. Хроматографирование проводили в стеклянной колонке (600 × 10 мм), заполненной сефадексом G-100 на высоту 350 мм; элюенты – дистиллированная вода, водные растворы NaCl (0,3 %), H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (0,018 ... 0,064 М), LiBr (0,018 ... 0,064 М).

Навеску образца АГ (10 мг) растворяли в 2 мл элюента, выдерживали в течение 1 ч при температуре 22 °С; 0,2 мл раствора вносили в колонку. Элюирование осуществляли в изократическом режиме со скоростью 0,1 мл/мин в условиях свободного протекания при температуре 22 °С. Объем пробы на анализ 1 мл. Углеводы в пробах определяли фенол-серноокислотным методом по Дюбуа [12].

Колонку калибровали с помощью декстранов, имеющих узкое распределение молекулярных масс (2 млн, 80 тыс., 40 тыс., 20 тыс.), и галактозы. Свободный объем колонки  $V_0 = 16$  мл. Гель-хроматограммы нормировали для исключения влияния концентрации образца на их вид. Молекулярные массы рассчитывали по уравнению Мура

$$\lg M_x = f(V_x),$$

где  $V_x$  – объем выхода соответствующей фракции.

При гель-проникающей жидкостной хроматографии экспериментально определяемой величиной является объем выхода соответствующей фракции. Для электронейтральных полимеров он зависит от молекулярной массы макромолекулы и не зависит от полярности и ионной силы элюента. В случае полиэлектролитов большое влияние на форму гель-хроматограммы оказывают полиэлектролитные эффекты, обусловленные электростатическим взаимодействием ионогенных групп, расположенных на макроионе полимера и матрице сорбента (эксклюзионный эффект), ионогенных групп, расположенных на макроионе полимера (полиэлектролитное набухание), наличием ионогенных групп, способных к диссоциации (ионная инклюзия). Эти эффекты приводят к тому, что фракционирование полимера на сорбенте

зависит не только от величины частиц, т.е. от молекулярной массы, но и от наличия в нем функциональных групп [5, 8]. Изучению полиэлектролитных эффектов и условиям их подавления уделено достаточно большое внимание. Так, в большой серии работ [8–10] при исследовании лигнинов и лигноуглеводных комплексов было показано, что введение в элюент соли экранирует взаимодействие ионогенных групп макроиона полимера и матрицы сорбента. Добавление кислоты подавляет диссоциацию ионогенных групп. Для подавления адсорбции полимеров на сорбенте используют метиловый спирт, тетрагидрофуран. Количество же электролитов, вводимое в элюент, должно быть индивидуальным для различных полимеров и зависеть от его полифункциональности.

При гель-хроматографии эффекты, подобные полиэлектролитным, могут наблюдаться в случае проявления макромолекулами полимера межмолекулярных взаимодействий, сопровождающихся образованием надмолекулярных структур – сольватных комплексов и ассоциатов, размеры которых могут варьироваться в зависимости от состава элюента [4]. Для кислых АГ отмечена большая склонность к образованию высокомолекулярных агрегатов и способность удерживать большое количество молекул воды [7].

Выделенный нами из древесины лиственницы сибирской АГ по данным функционального анализа,  $^{13}\text{C}$  ЯМР и ИК спектроскопии не содержит карбоксильных групп, но имеет две-три незамещенные гидроксильные группы в расчете на одно углеводное кольцо и 0,4 ... 0,8 % альдегидных групп. Исходя из этих данных, можно ожидать, что макромолекула АГ, прежде всего, будет проявлять способность к образованию ассоциатов за счет межмолекулярного взаимодействия, которое ей обеспечат гидроксильные и альдегидные группы. Эти же функциональные группы могут участвовать и во внутримолекулярном взаимодействии, и во взаимодействии с сорбентом, что способствует проявлению полиэлектролитных свойств АГ. Очевидно, что в условиях гель-хроматографии будет наблюдаться совместное действие этих эффектов. Из этого следует, что при определении молекулярной массы АГ методом гель-хроматографии необходимо знать условия подавления эффектов, способных влиять на ее расчетную величину.

Хроматографическая кривая АГ, полученная при использовании в качестве элюента воды (рис. 1), имеет мономодальный профиль, что свидетельствует об однородной функционализации макромолекул АГ, совпадение же объема выхода АГ ( $V_x$ ) с  $V_0$  (исключенный объем колонки) – о проявлении полиэлектролитных эффектов [8] и (или) возможном образовании ассоциатов. Подтверждением полиэлектролитных свойств АГ могла бы быть наблюдаемая нами

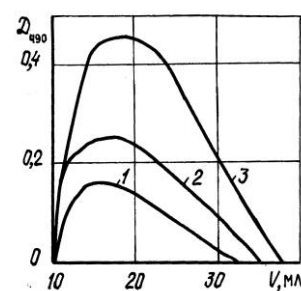


Рис. 1. Совмещенные гель-хроматограммы водных растворов АГ разных концентраций: 1 – 5, 2 – 10, 3 – 20 мг/мл ( $D_{490}$  – оптическая плотность,  $V$  – объем элюента)

аномальная зависимость формы гель-хроматограммы и удерживаемого объема от концентрации АГ (рис. 1): с увеличением концентрации АГ гель-хроматограмма сдвигается в область более низких молекулярных масс [6, 9]. Однако выявить полиэлектролитные свойства АГ в разбавленных растворах (концентрация АГ < 1 %), определяя их вязкость, не удалось. Зависимость приведенной вязкости растворов от концентрации АГ имеет выраженный экспоненциальный, а не экстремальный характер (рис. 2, а). При более же высоких концентрациях АГ (рис. 2, б) эта зависимость проходит через минимум, свидетельствуя о межмолекулярных взаимодействиях в данной системе [4]. Отсюда следует, что АГ способен скорее участвовать в образовании межмолекулярных ассоциатов, чем проявлять полиэлектролитные свойства. Однако исключить полностью полиэлектролитные свойства АГ нельзя.

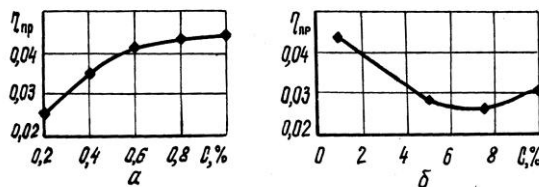


Рис. 2. Зависимость приведенной вязкости  $\eta_{пр}$  водных растворов АГ от их концентрации  $C$ :  
а – 0,2...1,0 %; б – 0...10 %

В качестве элюентов для гель-хроматографии арабиногалактана были выбраны водные растворы электролитов, хорошо себя зарекомендовавшие при исследовании лигноуглеводных комплексов [9], которые, как мы полагали, способны не только погашать полиэлектролитные эффекты, но и разрушать межмолекулярные ассоциаты.

Введение в элюент  $H_3PO_4$  приводит к изменению положения хроматографической кривой АГ, которая сдвигается в область меньших молекулярных масс, т.е.  $V_x$  становится больше (рис. 3, а). Для стабильного эффекта достаточно 0,036 М  $H_3PO_4$ . Однако хроматографическая кривая остается асимметричной: с вытянутым передним фронтом и резко падающим задним фронтом, что может являться признаком проявления ионной эксклюзии [9]. Наибольший эффект достигается введением в элюент LiBr (рис. 3, б),

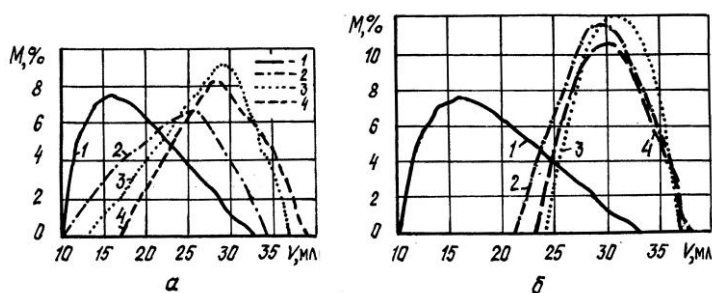
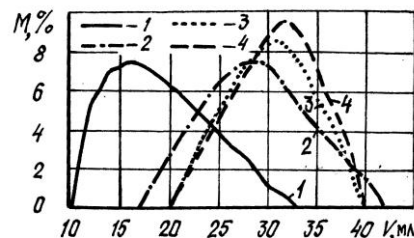


Рис. 3. Нормированные гель-хроматограммы АГ, полученные при различной концентрации в элюенте  $H_3PO_4$  (а) и LiBr (б): 1 – 0; 2 – 0,018; 3 – 0,036; 4 – 0,054 М (М – массовая доля фракции)

Рис. 4. Нормативные гель-хроматограммы АГ, полученные при совместном присутствии в элюенте  $H_3PO_4$  и LiBr различных концентраций: 1 – 0; 2 – 0,018 М  $H_3PO_4$  + 0,018 М LiBr; 3 – 0,036 М  $H_3PO_4$  + 0,036 М LiBr; 4 – 0,054 М  $H_3PO_4$  + 0,054 М LiBr



который экранирует взаимодействие ионогенных групп на макроионе и матрице сорбента и разрушает ассоциаты: происходит значительное изменение  $V_x$  и хроматографическая кривая приобретает форму гауссовой кривой. При концентрациях LiBr более 0,036 М изменения характера хроматографической кривой уже не происходит.

Опираясь на то, что сочетание добавок LiBr и  $H_3PO_4$  позволяет создать слабую буферную систему, которая подавляет полиэлектролитные эффекты в более широком диапазоне концентраций анализируемых веществ [9], было исследовано поведение АГ в условиях хроматографирования с использованием различного сочетания добавок (рис. 4). Применение электролитов ( $H_3PO_4$  и LiBr) концентрацией 0,036 М оказалось достаточным для стабильного подавления полиэлектролитных эффектов и межмолекулярного взаимодействия. Для этих условий хроматографирования было получено уравнение Мура:  $\lg M_x = 6,5 - 0,084 V_x$  и по нему рассчитаны среднемассовая  $M_w$  и среднечисловая  $M_n$  молекулярные массы АГ, которые сравнивали с молекулярными массами того же АГ, рассчитанными из гель-хроматограмм, когда в качестве элюентов была использована вода и 0,3 %-й водный раствор NaCl (см. таблицу). Раствор NaCl был выбран на основании исследования ряда авторов [1, 2, 5].

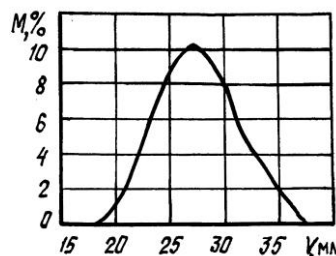
Анализ полученных результатов показывает, что воду нельзя использовать в качестве элюента при хроматографировании АГ, так как при этом проявляются полиэлектролитные эффекты и реализуется межмолекулярное взаимодействие, в результате чего получаются завышенные значения молекулярных масс. Водный 0,3 %-й раствор NaCl значительно, но не полностью, подавляет эти эффекты (рис. 5). Молекулярные массы АГ в этом случае достаточно близки, но не одинаковы с полученными в нашем эксперименте. Наилучший результат достигается при использовании комплекса электролитных добавок.

#### Зависимость молекулярных масс арабиногалактана от состава элюента

Элюент	$M_w$	$M_n$
Вода	32 100	16 030
Раствор NaCl (0,3 %)	14 130	7 790
Раствор с электролитными добавками (0,036 М LiBr + 0,036 М $H_3PO_4$ )	12 900	7 630



Рис. 5. Нормированная гель-хроматограмма АГ, полученная при использовании в качестве элюента 0,3 %-го раствора NaCl



Таким образом, показано, что в воде АГ способен к межмолекулярному взаимодействию и возможно проявляет полиэлектролитные свойства, за счет чего определяемые методом гель-хроматографии молекулярные массы имеют завышенные значения. Определение молекулярной массы АГ необходимо проводить в условиях деструкции ассоциатов и подавления полиэлектролитных эффектов с помощью использования комплексных систем элюентов, состоящих, в частности, из фосфорной кислоты и бромистого лития, для которых подобраны оптимальные концентрации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонова Г.Ф. Исследование фракционного состава полисахарида арабиногалактана древесины лиственницы сибирской // Химия древесины. – 1997. – № 4. – С. 97–100.
2. Антонова Г.Ф., Тюкавкина Н.А. Водорастворимые вещества лиственницы и возможности их использования // Химия древесины. – 1983. – № 2. – С. 89–96.
3. Антонова Г.Ф., Усов А.И. Структура арабиногалактана древесины лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) // Бионеорганическая химия. – 1984. – Т. 10, 12. – С. 1664–1669.
4. Бартнев Г.М., Френкель С.Я. Физика полимеров. – Л.: Химия, 1990. – 430 с.
5. Детерман Г. Гель-хроматография. – М.: Мир, 1970. – 252 с.
6. Нефедов П.П., Лавренко П.Н. Транспортные методы в аналитической химии полимеров. – Л.: Химия, 1979. – 232 с.
7. Оводов Ю.С. Полисахариды цветковых растений: структура и физиологическая активность // Биоорганическая химия. – 1998. – Т. 24, № 7. – С. 483–501.
8. Полиэлектролитные эффекты в эксклюзионной хроматографии лигнинов, лигноуглеводных комплексов и полисахаридов / П.П. Нефедов, А.Е. Русаков, М.А. Иванов и др. // Химия древесины. – 1979. – № 6. – С. 108–109.
9. Полиэлектролитные эффекты в эксклюзионной хроматографии лигнинов, лигноуглеводных комплексов и полисахаридов. 1. Влияние полиэлектролитной природы лигнинов и лигноуглеводных комплексов на их элюционное поведение при эксклюзионной жидкостной хроматографии в N,N-диметилформамиде / П.П. Нефедов, А.Е. Русаков, М.А. Иванов и др. // Химия древесины. – 1981. – № 4. – С. 66–72.
10. Полиэлектролитные эффекты в эксклюзионной хроматографии лигнинов, лигноуглеводных комплексов и полисахаридов. 2. Эксклюзионная жидкостная хроматография лигнинов и лигноуглеводных комплексов в N,N-диметилформамиде

и диметилсульфоксиде / П.П. Нефедов, А.Е. Русаков, М.А. Иванов и др. // Химия древесины. – 1982. – № 5. – С. 89–95.

11. Arabinogalactan for hepatic drug deliver / L. Josephon, E.V. Groman, C. Jung, P.M. Enriquez // *Bioconjugate Chem.* – Vol 5, N 6. – P. 547–556.

12. Colorimetric method for determination of sugars and related substances / M. Dubois, K.A. Gilles, J.K. Hamilton et al. // *Analyt. Chem.* – 1956. – Vol. 28, N 3. – P. 350–356.

13. *Nazareth M.R., Kennedy C.E., Bhatia V.N.* Studies on arabinogalactan // *J. Pharmac. Sci.* – 1961. – Vol. 50, N 7. – P. 546–547.

14. Pat. 5478576. US. Arabinogalactan derivatives and uses thereof / L. Josephon, P.M. Enriquez, C. Jung et al. – 1995.

15. *Willfor S., Sjolholm R., Holmbom B.* Isolation and characterization of water-soluble arabinogalactans from the heartwood of Norway spruce and scots pine // 10<sup>th</sup> International Symposium on Wood Pulp Chemistry. – Yokohama, Japan, 1999. – Vol. 2. – P. 32–34.

Иркутский институт химии  
СО РАН

Поступила 5.09.01

*S.A. Medvedeva, G.P. Alexandrova, A.P. Tantsyrev*

### **Gel-penetrating Chromatography of Arabinogalactan**

Arabinogalactan isolated from Siberian larch wood is shown to be capable of intermolecular interaction and acting as low polyelectrolyte in aqueous solution. The optimal concentrations of eluent complex systems consisting of phosphoric acid and lithium bromide have been selected. These systems are to be used for reducing polyelectrolytic effects and breaking associates when determining molecular mass of arabinogalactan.

---

УДК 541.127

*А.В. Малков, К.Г. Боголицын, А.М. Айзеништадт, Д.С. Косяков*

Малков Алексей Валерьевич родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Архангельский государственный технический университет. Аспирант кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет 4 печатные работы в области электрохимии и химии древесины.



Косяков Дмитрий Сергеевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области физикохимии неводных растворов.



### **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА КИНЕТИКУ ОКИСЛЕНИЯ РОДСТВЕННЫХ ЛИГНИНУ ФЕНОЛОВ СИСТЕМОЙ $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ – $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$**

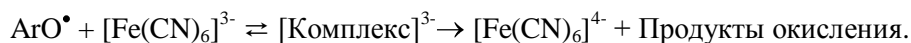
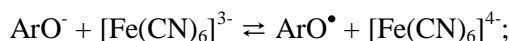
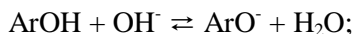
Исследовано влияние ионной силы, природы катиона и концентрации спирта на окисление ванилинового спирта и эвгенола гексацианоферратом в водно-этанольной среде; установлено, что солевые эффекты в данной системе обусловлены процессами ионной ассоциации.

кинетика, окисление, фенолы, гексацианоферрат, смешанные растворители, ионная ассоциация.

Одним из наиболее перспективных методов изучения окислительно-восстановительных свойств компонентов древесины, в частности лигнина, является косвенная оксредметрия [2]. В данном методе в качестве медиатора в водной среде наряду с другими окислительно-восстановительными системами (ОВС) широко используется система гексацианоферрат (III) – гексацианоферрат (II). Применение данной системы в спиртовых и водно-спиртовых средах ограничено малой растворимостью гексацианоферратов калия в спиртах, однако при замене калия на другие катионы – литий или тетраалкиламмоний [7] – это ограничение снимается.

Важным условием применения метода косвенной оксредметрии является знание особенностей взаимодействия системы-медиатора с исследуемым органическим субстратом, поскольку параметры реакционной способности соединений напрямую связаны с кинетикой и механизмом реакции их окисления. Кинетика и механизм окисления модельных соединений структурного звена и препаратов лигнина гексацианоферратом (III) калия в

воде и водно-спиртовых смесях подробно описаны в работах [1, 3]. Установлено, что в щелочной среде реакция идет по следующей схеме:



Лимитирующая стадия процесса окисления – взаимодействие между фенолят- и гексацианоферрат (III)-ионами. Известно, что скорость ионных реакций во многих случаях зависит от концентрации присутствующих в растворе электролитов. При этом скорость реакции может зависеть как от ионной силы, так и от концентрации какого-либо иона [4]. Использование в качестве медиатора гексацианоферратов лития или тетраалкиламмония приведет к существенному изменению ионного состава растворов ОВС, поэтому представляется необходимым решить вопрос о характере влияния природы электролитов на кинетику окисления фенольных соединений.

#### Методическая часть

8

В качестве модельных соединений структурного звена лигнина использовали ванилиновый спирт (4-гидрокси-3-метоксибензиловый спирт) и эвгенол (4-аллилгваякол).

Кинетические измерения проводили спектрофотометрическим методом при длине волны 420 нм в термостатируемой кювете (толщина слоя 50 мм) на спектрофотометре Specol-11, подключенном к ЭВМ, при температуре  $(25 \pm 0,1)$  °С. В кювету помещали 5 мл водно-спиртового раствора, содержащего по  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л гексацианоферрата (III) калия и гексацианоферрата (II) калия,  $1,4 \cdot 10^{-3}$  моль/л краун-эфира (18-краун-6), 0,1 моль/л KCl, LiCl или  $(\text{CH}_3)_4\text{NCl}$  и 0,01 моль/л соответствующего гидроксида. При изучении зависимости скорости окисления модельных соединений от ионной силы варьировали концентрацию KCl от 0 до 0,1 моль/л. Для получения растворов хлоридов концентрацией 0,1 моль/л использовали высушенную до постоянной массы соль (в случае KCl и LiCl) или потенциометрически оттитрованный (с  $\text{AgNO}_3$ ) раствор  $(\text{CH}_3)_4\text{NCl}$ . Влияние добавок краун-эфира исследовали, изменяя его концентрацию от  $1,4 \cdot 10^{-3}$  до  $4,71 \cdot 10^{-2}$  моль/л при концентрации KCl 0,2 моль/л. После достижения заданной температуры при помощи пипетки-дозатора вводили 20 мкл раствора модельного соединения (концентрация 0,025 моль/л) в этаноле, интенсивно перемешивали и регистрировали с помощью ЭВМ зависимость оптической плотности раствора  $D$  от времени  $\tau$ . Запись  $D$  производилась каждые 0,55 с. Полученную кинетическую кривую в виде текстового файла (200 ... 400 точек  $D$  от  $\tau$ ) подвергали математической обработке (программа CurveExpert 1.3), описывая функцией вида

$$D = \frac{a + b\tau + \tilde{n}\tau^2 - d(e\tau + 2)\ln(e\tau + 2)}{f(e\tau + 2)},$$

где  $a, b, c, d, e$  и  $f$  – эмпирические коэффициенты.

Вид функции выбран исходя из предполагаемого механизма реакции. Коэффициент корреляции составлял не менее 0,999. Определяли начальную скорость реакции по гексацианоферрату (III) как первую производную концентрации по времени в момент  $\tau = 0$ . Выполнено 5 ... 10 параллельных определений.

Константу скорости реакции рассчитывали по уравнению

$$k = \frac{(-d[\text{Ferri}]/d\tau)_0[\text{Ferro}]}{[\text{Ferri}][\text{ArOH}][\text{OH}^-]},$$

где  $(d[\text{Ferri}]/d\tau)_0$  – скорость реакции в момент  $\tau = 0$ ;  
 $[\text{Ferri}]$ ,  $[\text{Ferro}]$ ,  $[\text{ArOH}]$ ,  $[\text{OH}^-]$  – начальные концентрации соответственно гексацианоферратов (III) и (II), модельного соединения, щелочи [8].

#### *Зависимость скорости окисления от ионной силы*

Определили константы скорости окисления ванилинового спирта системой гексацианоферрат (III) – гексацианоферрат (II) в воде при варьировании ионной силы раствора  $I$  с помощью KCl в интервале 0,0132 ... 0,1132 моль/л. Полученные результаты представлены на рис. 1.

Согласно уравнению Бренстеда – Бьеррума, зависимость в координатах  $\lg k - \sqrt{I}$  представляет собой прямую, наклон которой пропорционален произведению зарядов реагирующих частиц. В нашем случае наклон графика соответствует реакции между одноименно заряженными ионами. Нелинейный характер зависимости  $\lg k$  от  $\sqrt{I}$  свидетельствует об участии в реакции ионных пар или более сложных ассоциатов [4].

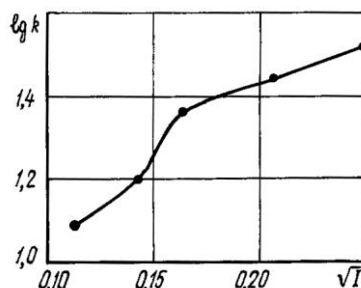


Рис. 1. Зависимость константы скорости окисления ванилинового спирта  $k$  от ионной силы  $I$  раствора

#### *Влияние добавок краун-эфира на скорость окисления*

Краун-соединения – макроциклические лиганды, способные с высокой специфичностью связывать ионы различных, в том числе и щелочных, металлов. При комплексобразовании катион включается во внутреннюю полость циклической молекулы краун-эфира, за счет чего снижается его способность к образованию ионных пар и повышается растворимость солей в малополярных растворителях. По отношению к ионам калия наибольшую специфичность проявляют краун-эфиры с 18-членным циклом, в частности 18-краун-6 [5]. Результаты измерений скорости окисления ванилинового

спирта в водной среде в присутствии различного количества 18-краун-6 представлены на рис. 2.

8\*Рис. 2. Зависимость константы скорости окисления ванилинового спирта от соотношения концентраций ионов калия  $C_{K^+}$  и краун-эфира  $C_{18\text{-краун-6}}$

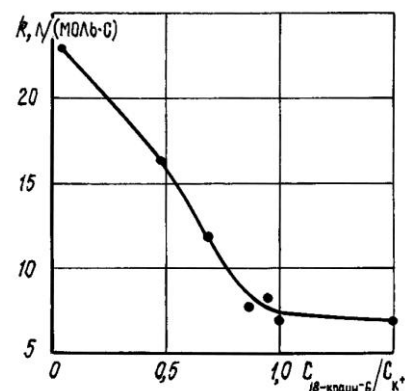
Из рис. 2 видно, что константа скорости реакции уменьшается по мере увеличения концентрации краун-эфира. Существование такой зависимости

указывает на участие катионов  $K^+$  в лимитирующей стадии реакции (взаимодействие гексацианоферрата (III) с феноксильным анионом). В настоящее время не установлено, участвует ли ион  $K^+$  в переносе электрона или лишь облегчает сближение двух анионов [9]. После того, как соотношение концентраций  $K^+$  и 18-краун-6 достигнет 1 : 1, снижение скорости окисления практически прекращается. Это, по нашему мнению, связано с установлением равновесия между двумя конкурирующими процессами – комплексообразованием калия с 18-краун-6 и образованием ионных ассоциатов  $K[Fe(CN)_6]^{2-}$ ,  $K_2[Fe(CN)_6]^-$ . Ранее нами было установлено, что доля ионных ассоциатов становится значительной уже при концентрациях  $10^{-4} \dots 10^{-3}$  моль/л [3]. Так, в водном растворе  $K_3[Fe(CN)_6]$  концентрацией  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л доля  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ ,  $K[Fe(CN)_6]^{2-}$  и  $K_2[Fe(CN)_6]^-$  соответственно составляет 49,2; 48,4 и 2,4 %. Таким образом, на лимитирующей стадии процесса окисления более вероятно взаимодействие фенолят-иона с ионным ассоциатом, а не с гексацианоферрат (III)-ионом.

*Зависимость скорости окисления от природы фонового электролита и состава растворителя*

В ходе эксперимента определены константы скорости окисления ванилинового спирта и эвгенола системой гексацианоферрат (III) – гексацианоферрат (II) в водно-этанольной среде в присутствии хлоридов калия, лития и тетраметиламмония. Долю этанола в водно-спиртовой смеси варьировали от 0 до 70 об. %, в опытах с KCl – до 50 об. % из-за низкой растворимости.

Из полученных результатов (рис. 3) следует, что скорость окисления ванилинового спирта с увеличением содержания этанола сначала резко снижается, а затем (после 30 ... 40 об. %) стабилизируется (в присутствии



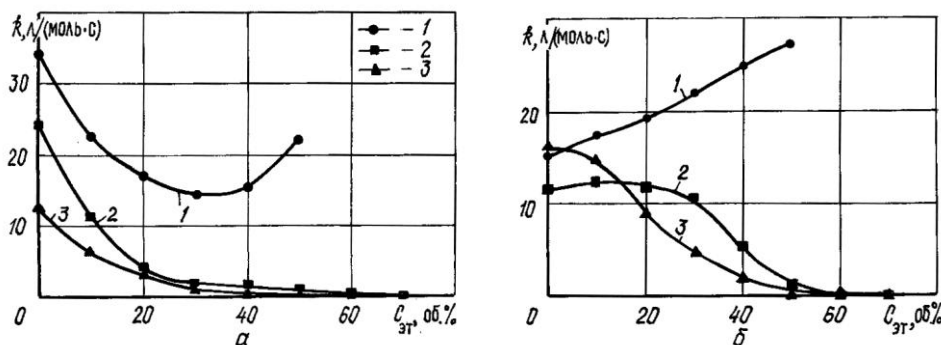


Рис. 3. Зависимость константы скорости окисления ванилинового спирта (а) и эвгенола (б) от концентрации этанола в присутствии солей: 1 –  $K^+$ ; 2 –  $Li^+$ ; 3 –  $(CH_3)_4N^+$

$Li^+$  и  $(CH_3)_4N^+$ ) или возрастает ( $K^+$ ). При окислении эвгенола константа скорости в присутствии  $Li^+$  и  $(CH_3)_4N^+$  сравнительно медленно снижается, в присутствии  $K^+$  – возрастает.

Реакционная способность системы гексацианоферрат (III) – гексацианоферрат (II) снижается по мере увеличения содержания этанола в растворе. Об этом свидетельствует уменьшение стандартного потенциала ОВС с 360 мВ в воде до –63 мВ в спирте (концентрация 81,1 %) [3]. Реакционная способность фенольных соединений с увеличением содержания спирта, напротив, возрастает [6]. Форма графиков  $k = f(C_{EtOH})$ , по нашему мнению, обусловлена наложением этих двух эффектов. Значительно более высокая реакционная способность гексацианоферрата калия обусловлена интенсивными ассоциативными процессами. Различие в поведении ванилинового спирта и эвгенола, вероятно, связано с различиями в их сольватации смешанным растворителем. Более детальная интерпретация обнаруженных эффектов возможна на основе количественного расчета ион-молекулярных равновесий в растворах гексацианоферратов.

#### Выводы

1. Влияние электролитов на кинетику реакции окисления ванилинового спирта гексацианоферратом (III) обусловлено прежде всего процессами ионной ассоциации.

2. Реакционная способность гексацианоферрата (III) калия в водно-этанольной среде выше, чем гексацианоферратов (III) лития и тетраметилламмония. Это различие многократно возрастает при увеличении содержания этанола в растворе.

3. Подтвержден факт увеличения реакционной способности фенолов при переходе от водных к этанольным растворам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Айзенштадт А.М.* Оксредметрия в химии и химической технологии древесины: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. – Архангельск, 1998. – 48 с.
2. *Боголицын К.Г., Резников В.М.* Химия сульфитных методов делигнификации древесины. – М.: Экология, 1994. – 288 с.
3. *Косяков Д.С.* Изучение редокс-свойств соединений фенольного ряда в водно-спиртовых растворах: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Архангельск, 1998. – 22 с.
4. *Мелвин-Хьюз Е.А.* Равновесие и кинетика реакций в растворах / Под ред. И.П. Белецкой. – М.: Химия, 1975. – 472 с.
5. *Хираока М.* Краун-соединения. Свойства и применение / Под ред. Н.М. Эмануэля. – М.: Мир, 1986. – 363 с.
6. *Чупка Э. И., Ходырева Н. В., Семенов С. Г.* Квантовохимическая оценка влияния растворителя на скорость окисления фенолов, моделирующих нуклеофильные фрагменты лигнина // Лесн. журн. – 1994. – № 2-3. – С. 60–67. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Györyova K.* Investigation of thermal behaviour of solid transition metals cyano complexes with organic cations // *Thermochimica Acta.* – 1991. – Vol. 190. – P. 15–29.
8. *Haynes C.G., Turner A.H., Waters W.A.* The oxidation of monohydric phenols by alkaline ferricyanide // *J. Chem. Soc.* – 1956. – P. 2823–2831.
9. Kinetics of electron exchange between hexacyanoferrate (II)- and (III)-ions // *Inorganic Chemistry.* – 1967. – Vol. 6, N 4. – P. 672–681.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 6.11.02

*A.V. Malkov, K.G Bogolitsyn, A.M. Aisenschtadt, D.S. Kosyakov*

**Influence of Electrolytes on Oxidation Kinetics of  
Lignin Related Phenols by System  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} - [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$**

The influence of ionic strength, cation nature and alcohol concentration on oxidation of vanillyl alcohol and eugenol acid by hexacyanoferrate has been investigated in water-ethanol medium. It has been found out that salt effect in this system is caused by the ionic association processes.

---





УДК 658.5

***Н.И. Кожухов, И.Б. Муслимов***

Кожухов Николай Иванович родился в 1938 г., окончил в 1961 г. Куйбышевский сельскохозяйственный институт, профессор, доктор экономических наук, заведующий кафедрой экономики и организации ВЭС Московского государственного университета леса, заслуженный экономист РФ, член-корреспондент РАСХН, академик РАЕН. Имеет более 200 печатных работ в области экономики и управления отраслями лесного комплекса.



Муслимов Ильяз Булатович родился в 1963 г., окончил Московский инженерно-физический институт, президент объединения «Папирус». Имеет печатные публикации.

**ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВОМ И СБЫТОМ  
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОДУКЦИИ**

На примере ЦБК обсуждаются система показателей и эффективность маркетинговых программ, проект оптимизации ассортимента.

эффективность, маркетинг, производство, реализация.

Современные управленческие структуры не мыслят себя без функционирующих в их составе маркетинговых служб, которые разрабатывают не только действенные маркетинговые программы, но и пытаются найти критерии их эффективности. В данной статье предлагается целостная система оценки эффективности маркетинговых программ на примере целлюлозно-бумажных предприятий. Результативность таких программ на конкретном промежутке времени определяется по различным направлениям затрат. Показатели экономической эффективности затрат на маркетинг могут быть получены по формуле

$$\Pi_{\text{вп}} = \sum_{i=1}^n (V_{\text{п1}} - V_{\text{п2}}) \Pi_1, \quad (1)$$

где  $\Pi_{\text{вп}}$  – прибыль фирмы, полученная за счет роста объема продаж продукции;

$V_{\text{п1}}, V_{\text{п2}}$  – объем продаж продукции фирмы до и после реализации маркетинговой программы (в натуральных измерителях);

$\Pi_1$  – прибыль на единицу продукции до реализации программы мероприятий.

Для рассматриваемого нами предприятия (АО «Архбум» за некоторый год) прибыль, полученная за счет роста объема продаж, составила более 12 млн р.

Разумеется, такой подход приемлем, если итогом маркетинговых мероприятий является прирост продаж. Результативность маркетинговых программ можно также рассчитать, сравнивая затраты на реализацию программы с прибылью, полученной за счет роста объемов продаж продукции. Такая зависимость может быть выражена формулой

$$P_i = \frac{\dot{I}_{vi}}{\dot{E}_i} 100, \quad (2)$$

где  $P_m$  – результативность (рентабельность) маркетинговой программы, %;

$I_m$  – издержки на проведение маркетинговой программы по увеличению объема продаж.

В принципе аналогичным образом можно рассчитать эффективность мероприятий и по другим направлениям маркетингового воздействия на процесс производства и реализации продукции целлюлозно-бумажных комбинатов: улучшению качества продукции, комплексному обслуживанию, оптимизации структуры выпуска готовой продукции и т. п.

Рассмотрим конкретный вариант расчета эффективности маркетингового проекта оптимизации структуры выпускаемого ассортимента АО «Архбум».

В соответствии с предложенной математической моделью была проведена расчетная процедура по оптимизации выпуска и реализации отдельных видов продукции данной акционерной компании (см. таблицу).

Вид продукции	Фактические годовые показатели			Показатели после реализации маркетинговой программы			
	Объем продаж, млн р.	Себестоимость производства и реализации, млн р.	Рентабельность, %	Объем продаж, млн р.	Издержки производства и реализации, млн р.	Прибыль, млн р.	Рентабельность, %
Целлюлоза товарная	2314	2009,5	16,0	3506,2	2796	710,2	25,4
Бумага всех видов	883	632	39,7	1201,8	817	384,8	47,1
Картон товарный	418	322	29,8	553,8	397	156,8	39,5
Гофротара	336	244	37,7	555,7	370	185,7	50,2
ДВП	230	206	11,7	220,9	201	19,9	9,9

Исходя из показателей оптимальных объемов выпуска продукции, прирост прибыли за счет роста объема продаж равен сумме 12,2 млн р. В то же время расходы на реализацию маркетинговой программы по увеличению роста продаж в 2000 г. составили 7,9 млн р.

В соответствии с формулой расчета результативности маркетинговой программы получим

$$P_i = \frac{12,2}{7,9} 100 = 154 \%$$

Конечно, не все маркетинговые программы могут быть высокорентабельными, но на первом этапе их реализации это возможно.

Ниже приведены расчеты эффективности управленческой деятельности на примере АО «Архбум» по следующей системе относительных показателей:

1. Коэффициент эффективности затрат на управление производством и сбытом продукции фирмы ( $K_{з,у}$ ):

$$K_{з,у} = \frac{\dot{E}_{\text{о}}}{\dot{E}_{\text{ю}}}, \quad (3)$$

где  $I_y$  – издержки фирмы по управлению производством и содержанию маркетинговой службы;

$I_{\text{пр}}$  – издержки по производству и сбыту продукции.

Для АО «Архбум» получено  $K_{з,у} = \frac{104894}{2097881} = 0,05$ .

2. Коэффициент результативности управления фирмой ( $K_{р,у}$ ):

$$K_{р,у} = \frac{\dot{I}_{\text{ч}}}{\dot{E}_{\text{ю}}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{ч}}$  – прибыль (условно чистая).

Для производства целлюлозы в условиях АО «Архбум»  $K_{р,у} = \frac{229}{3079} = 0,075$ . В целом же по акционерному обществу  $K_{р,у} = \frac{190908}{4017044} = 0,047$ .

3. Коэффициент уровня организации производственной деятельности ( $K_{о,п}$ ):

$$K_{о,п} = \frac{\dot{O}_i}{\dot{I}_{\text{и.п}}}, \quad (5)$$

где  $T_{\text{п}}$  – длительность одного производственного цикла на единицу продукции, дн.;

$O_{\text{о.с}}$  – длительность одного оборота оборотных средств фирмы, дн.

Для производства 1 т целлюлозы в АО «Архбум»  $K_{о,п} = \frac{0,91}{10,5} = 0,09$ .

Если оценить приведенные три показателя, то можно отметить, что  $K_{э,у}$  может быть признан удовлетворительным в интервале от 0,03 до 0,049; хорошим – от 0,05 до 0,07 и отличным при величине более 0,071.

Коэффициент результативности управления фирмы, по нашему убеждению и многочисленным расчетам, может быть достаточно хорошим в интервале от 0,10 до 0,25.

Уровень организации производства на фирме можно считать удовлетворительным при  $K_{о,п} = 0,05 \dots 0,10$ . Таким образом, этот показатель в АО «Архбум» более или менее удовлетворителен, но не более.

4. Коэффициент управляемости фирмой ( $K_y$ ):

$$K_y = \frac{\times_6}{\times_1}, \quad (6)$$

где  $\check{C}_y$  – численность управленческого персонала;

$\check{C}_п$  – численность всех работающих на фирме.

$$\text{Для АО «Архбум» } K_y = \frac{152}{2560} = 0,06.$$

5. Коэффициент отдачи управленческих действий ( $K_{о,у}$ ):

$$K_{о,у} = \frac{\dot{I}_{\dot{z}}}{\times_6} = \frac{190908}{152} = 1256 \text{ тыс. р.} \quad (7)$$

Таким образом, в среднем на каждого управленческого работника АО «Архбум» приходится в год более 1 млн р. условно чистой прибыли. Конечно, это относительный показатель, но он в значительной мере отражает интенсивность работы управленческих специалистов, включая маркетологов. Эффективным можно считать показатель  $K_y$ , равный 0,03 ... 0,06, когда на одного управленца приходится от 17 до 33 работников.

Подобные системы показателей еще более наглядно отражают происходящие в производстве и управлении динамические процессы, если они дополняются расчетами эффективности использования производственных возможностей фирмы.

Ниже изложен один из подходов к расчету эффективности использования производственных фондов.

Улучшение использования производственных мощностей и основных производственных фондов предполагает, что они загружены рациональным образом, оптимальными объемами запускаются в производство продукции. Для поддержания ее высокого качества соблюдаются технологические режимы производства, оборудование работает ритмично, своевременно обеспечивается профилактика, высокий коэффициент сменности. Предполагается, что на предприятии используется столько оборудования, сколько необходимо для организации эффективного производственного процесса, т. е. нет никаких излишков и запасов ненужного, неустановленного оборудования.

С точки зрения управления это означает, что на предприятии возникает экономия издержек производства по статье «амортизационные отчис-

ления». Чем меньше эта статья, тем меньше амортизационные отчисления на единицу продукции. Это означает общее снижение затрат на производство единицы продукции и, следовательно, увеличение прибыли при стабильной цене изделия. В условиях конкурентной борьбы это позволяет предприятию снизить цену на свою продукцию, завоевать рынок за счет увеличения объема продаж, а значит, и массы прибыли, компенсировать свои потери от снижения цены. Увеличение объема продаж создает новые импульсы для снижения амортизационных затрат в расчете на единицу продукции.

Маркетинговые мероприятия обычно способствуют снижению издержек производства на хранение и транспортировку продукции, так как производится только то, что имеет спрос, в то время, когда это нужно, и поставляется в то место, где это нужно. Располагая нужной информацией, предприятие имеет возможность сокращать свои складские помещения как для готовой продукции, так и для запасов сырья.

Экономия транспортных издержек проявляется в том, что при отсутствии лишних запасов сокращаются сами транспортные перевозки. Кроме того, зная, что, сколько, куда и когда нужно поставить, предприятие может заранее оптимальным образом организовать процесс транспортировки своей продукции и получить экономию.

Таким образом, коэффициент эффективности маркетинговых мероприятий по улучшению использования основных производственных фондов и снижению амортизационных отчислений ( $K_{э.м.а}$ ) может быть определен по формуле

$$K_{э.м.а} = \frac{\dot{Y}\dot{E}_{i.а}}{\dot{I}_{а}}, \quad (8)$$

где  $\dot{E}_{i.а}$  – экономия издержек производства в результате маркетинговых мероприятий, направленных на снижение амортизационных отчислений;

$M_{а}$  – затраты на проведение маркетинговых действий по снижению амортизационных отчислений.

Величину  $\dot{E}_{i.а}$  находим по выражению

$$\dot{E}_{i.а} = \left( \frac{A}{V_{i1}} - \frac{A}{V_{i2}} \right) V_{i2}, \quad (9)$$

где  $A$  – годовой размер амортизационных отчислений предприятия, р.

Коэффициенты эффективности маркетинговых мероприятий по снижению транспортных ( $K_{э.м.т}$ ) и складских ( $K_{э.м.с}$ ) затрат определяем по формулам

$$K_{э.м.т} = \frac{\dot{Y}\dot{E}_{i.т}}{\dot{I}_{т}}; \quad (10)$$

$$K_{э.м.с} = \frac{\dot{Y}\dot{E}_{i.с}}{\dot{I}_{с}}; \quad (11)$$

где  $ЭИ_{м.т}$ ,  $ЭИ_{м.с}$  – снижение издержек производства в результате маркетинговых мероприятий по экономии транспортных и складских затрат;

$M_t$ ,  $M_c$  – затраты на проведение маркетинговых мероприятий по экономии транспортных и складских издержек.

Используя приведенные методы расчета, определим эти показатели для АО «Архбум».

Так, экономия издержек производства в результате проведения маркетинговых мероприятий, направленных на снижение амортизационных отчислений, будет равна:

$$ЭИ_{м.а} = \left( \frac{120}{4181} - \frac{120}{6038} \right) \cdot 6038 = 53,1 \text{ млн р.}$$

Тогда  $K_{э.м.а} = \frac{53,1}{10,8} = 4,9$ , т.е. каждый рубль, вложенный в мероприя-

тие по снижению амортизационных отчислений (а это главным образом продление срока службы), даст пятикратную отдачу.

Приведем пример расчета показателей эффективности маркетинговых программ по снижению транспортных и складских издержек. Такие программы строятся на базе использования логистических приемов, позволяющих с помощью моделирования оптимальных планов перевозок, а также синхронизации оперативных действий по приему грузов на складах и отгрузке их потребителю добиваться значительной экономии средств. Наши предложения логистического характера рассматривались на АО «Архбум» и приняты для использования в практике работы акционерного общества.

В результате разработки и реализации маркетинговой программы, опирающейся на логистические построения транспортно-складского хозяйства, только в части бумажной продукции, отгружаемой АО «Архбум» своим партнерам по бизнесу, были определены:  $ЭИ_{м.т} = 75,6$  млн р.;  $ЭИ_{м.с} = 37,9$  млн р.

В этом случае  $K_{э.м.т} = \frac{75,6}{8,12} = 9,3$ ;  $K_{э.м.с} = \frac{37,9}{7,2} = 5,3$ , т.е. отдача

средств, вложенных в логистические и маркетинговые мероприятия по снижению транспортно-складских издержек, чрезвычайно высока.

Таким образом, практика управленческих воздействий на производство продукции целлюлозно-бумажной промышленности свидетельствует о значительных резервах экономии издержек во многих сферах производственно-бытовой деятельности.

Московский государственный  
университет леса

Поступила 27.11.01

---

*N.I. Kozhukhov, I.B. Muslimov*

**Management Efficiency Measures for Production and Sale  
of Pulp-and-paper Products**

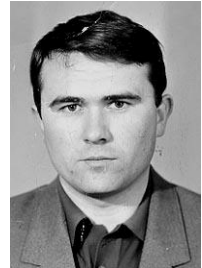
The system of marketing programme measures and efficiency and draft assortment optimization are discussed based on the example of pulp-and-paper mill.

---

УДК 630\*9:630\*2:630\*222:630\*28:630\*284

***Н.Н. Довбня, С.А. Наумов, А.М. Невидомов***

Довбня Николай Николаевич родился в 1961 г., окончил в 1988 г. Казахский сельскохозяйственный институт, директор департамента лесного комплекса Правительства Нижегородской области. Имеет 3 печатных труда в области экономики лесной промышленности.



Наумов Сергей Александрович родился в 1949 г., окончил в 1970 г. Воронежский лесотехнический институт, заместитель руководителя по лесному направлению департамента природных ресурсов по Приволжскому региону, заслуженный лесовод Российской Федерации.



Невидомов Алексей Михайлович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. Горьковский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского и проектного института лесохимической промышленности. Имеет около 35 научных трудов и внедрений НИР в лесохозяйственное производство.



**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЖЕГОРОДСКИХ ЛЕСОВ**

Определены основные направления повышения эффективности использования лесов: вовлечение в хозяйственный оборот ряда ООПТ, развитие арендных отношений, возрождение подсосного производства, утилизация неликвидной и низкосортной древесины, интенсификация побочного пользования лесом, создание плантаций целевого назначения, мероприятия по улучшению качества лесовосстановительных работ.

эффективность лесопользования, особо охраняемые природные территории, лесной фонд, подсочка, утилизация неликвидной древесины и отходов, плантации, биологическое разнообразие.



Нижегородская область – базовый регион средней полосы европейской части России, ставший на рубеже XIX–XX вв. моделью для разработки В.В. Докучаевым классического закона мировой природной зональности, а на пороге XXI в. выступивший в качестве флагмана проводимых в нашей стране рыночных реформ. Область располагает не только значительными лесными ресурсами, отражающими всю основную гамму биоразнообразия лесорастительных (ландшафтно-географических) зон европейской России (от южной тайги на севере до лесостепи на юге), но и являет собой существенную составную часть многовекового отечественного опыта ведения лесного хозяйства и лесопользования. Говоря об эффективности лесопользования, необходимо четко различать три ее стороны: экологическую, экономическую и социальную.

В современном мире существенно возросло экологическое значение лесов как одно из непереносимых условий реализации концепции устойчивого развития, принятой на знаменитой конференции ООН по окружающей среде (ЮНСЕД) в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Важнейшим рычагом во всемирном плане действий в целях устойчивого развития, обеспечивающего эволюцию биосферы в ноосферу (сфера разума) в толковании В.И. Вернадского, должен стать планомерный переход к устойчивому управлению лесным хозяйством в мировом масштабе, что созвучно отечественному принципу непрерывного и неистощимого лесопользования, декларированному в России еще 100 лет назад.

По различным формам заповедования лесов Нижегородская область в течение последнего десятилетия находится впереди многих регионов России. В 1993 г. создан Керженский государственный природный заповедник площадью 46,9 тыс. га, претендующий на статус биосферного; заказники занимают 126,5, памятники природы – 216,1 тыс. га. Все это значительно повысило экологическую эффективность использования нижегородских лесов, но в то же время явилось одним из факторов, существенно снизившим экономическую и социальную эффективность лесопользования.

В результате выделения, часто недостаточно обоснованного, особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и их охранных зон, а также зарезервированных с 1994 г. участков лесного фонда для создания ООПТ, из хозяйственного оборота выведено 186 тыс. га леса с запасом спелых и перестойных насаждений 6,2 млн м<sup>3</sup>. При этом ежегодные потери лесного дохода в виде платежей за древесину, отпускаемую на корню, оцениваются в 28,7 млн р.

В целом ООПТ и их охранные зоны в настоящее время занимают 8,1 % площади Нижегородской области.

Кроме того, решением Нижегородского областного Совета народных депутатов от 22.03.94 № 57-м в Нижегородской области запланировано создание биосферного заповедника на базе заповедника «Керженский» общей площадью 200 тыс. га, 17 различных видов и значения заказников площадью более 220 тыс. га и около 400 новых памятников природы областного

значения общей площадью более 70 тыс. га. После выполнения данной программы ООПТ будут занимать около 14 % всей территории Нижегородской области или около 30 % территории гослесфонда. Кроме того, во всех проектируемых ООПТ запрещена вся хозяйственная деятельность. Все это отрицательно сказывается на ведении лесного хозяйства и пользовании лесным фондом.

Как правило, исключение указанных лесов из хозяйственного оборота без учета экономических и социальных факторов приводит к созданию безработицы в лесных поселках и в конечном счете их ликвидации. Экономике области при этом наносится значительный ущерб.

В целях инвентаризации существующих и проектируемых ООПТ, учета интересов охраны природы и рационального природопользования распоряжением Правительства Нижегородской области от 11 апреля 2002 г. № 188-р «Об особо охраняемых природных территориях» создана специальная комиссия, которой поручено рассмотреть целесообразность сохранения существующих и создания новых ООПТ на зарезервированных участках лесного фонда.

В конце XX в. произошли существенные изменения в лесном фонде области (табл.1). Площадь лесов I группы увеличилась на 19, особо ценных лесных массивов на 100 % (по России в целом соответственно на 43 и 130 %\*).

Все это привело к беспрецедентному сокращению расчетной лесосеки. За последние 10 лет в Нижегородской области она уменьшилась на 27,6, по России в целом на 16,5 %. Однако если в России в 2000 г. она использована на 22, а в хвойных лесах на 27 %, то в Нижегородской области на 45 и 73 %.

В определенной степени увеличение объемов заготовки древесины зависит от успешного решения вопросов аренды лесов. По состоянию на 01.01.2002 г. в аренду лесозаготовительными предприятиями в Нижегород-

Таблица 1

**Изменение площади земель лесного фонда (тыс. га)  
Нижегородской области за 1990–2000 гг.**

Показатели	1990 г.	2000 г.	Разница
Общая площадь земель лесного фонда	3106,3	3136,6	30,3
В том числе покрытая лесной растительностью по преобладающим породам:			
хвойные	1367,8	1432,3	64,5
твердолиственные	73,2	57,7	-15,5
мягколиственные	1306,5	1370,9	64,4
Лесные культуры	497,1	614,5	117,4
Леса I группы	809,3	961,7	152,4
В том числе особо ценные лесные массивы	–	0,9	0,9

\* Данные по России в целом взяты при анализе работы Ю.А. Кукуева [2].

---

Леса II группы		2297,0		2174,8		-122,2
----------------	--	--------	--	--------	--	--------

ской области передано 287,6 тыс. га с установленным ежегодным размером отпуска 579,1 тыс. м<sup>3</sup>. По сравнению с 1999 г. арендаторы увеличили в 2000 г. фактическую заготовку древесины на 6 %, что свидетельствует об эффективности (как экономической, так и социальной) данной формы лесопользования.

В национальной системе лесопользования существует ряд важнейших проблем, отмеченных первым заместителем министра природных ресурсов РФ Ю.А. Кукуевым и требующих первоочередного решения в XXI в. Среди них вопросы повышения эффективности использования лесосырьевого потенциала экономически доступных лесов в центральных районах страны.

Повышение эффективности использования сосновых древостоев в определенной степени связано с развитием подсочного производства. Живица – традиционный продукт прижизненной эксплуатации сосновых лесов, что естественно для страны, обладающей огромными лесными ресурсами. Рубка сосновых древостоев без предварительной их подсочки в бывшем СССР не допускалась. Недаром до 1990 г. Россия твердо занимала второе место на мировом рынке канифольно-скипидарных продуктов, обеспечивая лесохимической продукцией более 30 отечественных отраслей промышленности.

В 1990 г. в Нижегородской области добывали 4,2 тыс. т живицы, при этом в подсочном производстве было занято более 1100 рабочих только основных профессий – вздымщиков и сборщиков. За 10 последующих лет объемы заготовки живицы уменьшились более чем в 5 раз и в 2000 г. составили всего 820 т\*. В результате доходность Нижегородских лесов за указанный период снизилась на 38,87 млн р. в год, почти 1000 жителей лесных поселков потеряли работу. Нижегородские заводы «Оргсинтез» и «Оргхим», имеющие производственные мощности по переработке живицы 32 тыс. т в год, остались практически без сырья. На 2005 г. потребность заводов органического синтеза, синтетического каучука, резинотехнических изделий и кабельной промышленности России составит 40 тыс. т живичной канифоли.

При рассмотрении перспективы развития подсочного производства приняты следующие исходные данные.

1. Исходя из наличия и состояния спелых и перестойных сосновых древостоев в Нижегородской области, возможный размер ежегодной подсочки леса составляет 33 394,0 га. Столь солидная лесосырьевая база используется в настоящее время лишь на 25 %. 25 154 га сосняков, предназначенных лесостроительством для подсочки, остается без нее, приближаясь к рубке главного пользования (РГП).

---

\* В целом по стране ситуация гораздо хуже. Если в бывшем СССР в 1990 г. добывали 100 тыс. т живицы, то в 2000 г. в России было заготовлено всего 6 тыс. т.

2. К этому следует добавить еще 248 409 га припевающих и средневозрастных сосняков, включенных в РГП (последний класс) за время, прошедшее с лесоустройства, специально не выделенных в подсочку, но уточненных для этой цели Поволжским предприятием «Леспроект» методом актуализации данных на 01.01.2000 г.

3. По опыту прошлых лет рентабельных для подсочки сосновых древостоев было около 26 %. Таким образом, к 2010 г. расчетная лесосырьевая база подсочки принимается в размере 73 268,8 га.

4. При выходе живицы 165 кг с 1 га на указанной сырьевой базе можно добыть 12 тыс. т живицы ежегодно.

5. От аукционной продажи древесины на корню в 2000 г. по Нижегородской области было получено 33,3 млн р., а живицы в год можно добывать на 50 млн р., увеличивая тем самым доходность нижегородских лесов в 2,5 раза.

Важной проблемой является также утилизация неликвидной низкосортной древесины, отходов лесопромышленного производства и мягколиственных пород. Одним из путей активизации лесопользования может стать внедрение в лесхозах, леспромхозах и других лесных предприятиях передвижных малогабаритных экономически и экологически более совершенных углевыжигательных печей ППУ-М для переработки лиственной, дровяной и прочей неликвидной древесины в древесный уголь и другую продукцию, пользующуюся спросом. Стоимость одной установки ППУ-М 120 тыс. р., срок окупаемости 1,5 ... 1,8 лет, производительность 70 т древесного угля в год, стоимость угля от 5 до 10 тыс. р. за 1 т.

Другим путем утилизации неликвидной древесины перестойных мягколиственных насаждений является ее газификация как известный процесс переработки древесного сырья в горючий газ в лесохимической промышленности. Из 1941 тыс. м<sup>3</sup> абс. сухой неиспользованной в области мягколиственной древесины при газификации можно получить энергию, заменяющую 600 тыс. т условного топлива в год. Это позволяет решить две кардинальные проблемы:

во-первых, сэкономить невосполняемые горючие минерально-сырьевые ресурсы (нефть, газ) в указанном объеме, потому что в XXI в. вопрос об альтернативных нефти и газу источниках топлива встанет особенно остро. Согласно ориентировочным подсчетам, при современных масштабах добычи и потребления нефти и газа их запасов хватит не более чем на 35 ... 40 лет.

во-вторых, дополнительно вовлечь в эксплуатацию мягколиственные древостои и снизить экологическую напряженность, так как накопившиеся за последние десятилетия корневые запасы спелой и перестойной осиновой и березовой древесины создают реальную угрозу экологической безопасности на всех уровнях (локальный, региональный и глобальный) из-за их пожароопасности, размножения вредных насекомых и паразитов, усиления парникового эффекта вследствие интенсивного выделения углекислого газа.

В названных случаях открывается также возможность сделать лесозаготовительное производство безотходным. Кроме того, древесноугольная мелочь (отходы производства древесного угля) может быть использована для производства нового продукта – древесноугольных брикетов. Опилки лиственных пород позволяют организовать производство экологически чистых, бесканцерогенных жидких копильных препаратов нового поколения, а также высококалорийных древесных брикетов. Березовая кора может быть использована для производства березового дегтя и субстанций медицинских и ветеринарных препаратов.

Важнейшим направлением повышения эффективности использования лесов в XXI в. является побочное пользование. Лесные ягоды и лекарственные растения – естественный источник витаминов и микроэлементов для людей и животных.

Однако произрастающие в лесхозах Нижегородской области в достаточном количестве лесные дикоросы (табл. 2) пока не используются в существенных объемах для перерабатывающей промышленности и поэтому не приносят лесхозам ощутимых доходов.

Организация на угодьях нижегородских лесов переработки лесных ягод и лекарственных трав путем создания специальных малотоннажных установок могла бы ощутимо повысить рентабельность лесхозов, создать

Таблица 2

**Запасы и объемы использования недревесной продукции леса, включая лесные ягоды и дикорастущие лекарственные растения, т**

Вид недревесной продукции леса	Запасы по материалам лесоустройства	Использовано			2000 г., % к 1999 г.
		1998 г.	1999 г.	2000 г.	
Ягоды	15 168,2	0,3	0,7	0,5	74,3
Лекарственные растения	10 674,4	1,5	1,3	3,5	272,0

Примечание. Использование недревесной продукции леса приведено без учета объемов, использованных местным населением.

новые рабочие места и обеспечить пищевую промышленность, сельское хозяйство и медицину Нижнего Новгорода и области ценными продуктами. С учетом экологической чистоты ряда районов Нижегородской области в перспективе возможна поставка продуктов на зарубежный рынок. Ведь 1 т переработанных лесных дикоросов позволяет получить около 1 тыс. долларов США чистой прибыли по технологии, разработанной Центральным научно-исследовательским и проектным институтом лесохимической промышленности (ЦНИЛХИ). В настоящее время институтом представлены инвестиционные проекты по созданию промышленных установок такого рода.

Большое внимание уделяется плантационному целевому выращиванию лесных ягодных культур. Так, в 1979 г. в Затонском опытном лесхозе создана плантация, где на площади 3,95 га клюква американская крупноплодная представлена 9 сортами, а на площади 0,78 га проходят сортоиспы-

тание 18 форм болотной (четырёхлепестной) клюквы, отобранной в Нижегородской, Костромской, Ленинградской, Тюменской областях, а также в Республике Карелия; ежегодный валовой сбор клюквы с плантации составляет до 2000 кг; урожайность отдельных участков в пересчете на 1 га достигает 3 ... 5 т. В 1987 г. были созданы плантации черноплодной рябины на площади 2 га со среднегодовой урожайностью 1 т и 0,5 га облепихи с выходом до 200 кг ягод в год.

В 1980–1997 гг. в Ковернинском лесхозе созданы плантации ели площадью 2297 га со среднегодовым запасом 300 м<sup>3</sup>, который предполагается получить на 20 лет раньше (в 81 год вместо 101) специально для Балахинского ОАО «Волга». Это позволяет вовлечь в интенсивный хозяйственный оборот не покрытые лесом земли, малопригодные в силу сложившихся лесорастительных условий для выращивания высокопродуктивных древостоев методами классического лесоводства.

Весьма позитивным феноменом современного состояния лесного фонда Нижегородской области является беспрецедентное накопление запасов приспевающих хвойных древостоев. За истекшее 10-летие их площадь увеличилась на 572,6 тыс. га (в 4,6 раза!), что объясняется лесовосстановлением после неограниченной эксплуатации в период Великой Отечественной войны. Причины сокращения площади твердолиственных лесов как в Нижегородской области, так и по России в целом раскрыты нами ранее [4]. Увеличение площади мягколиственных насаждений объясняется недостаточным уровнем их реализации в период структурной перестройки в процессе рыночных реформ, вследствие непропорциональной рубки (хвойные – на 83, мягколиственные – на 35 %).

Целью конвенции о биологическом разнообразии, принятой на конференции ООН в 1992 г., является сохранение биоразнообразия (БР) как одного из важнейших составляющих устойчивого развития в XXI в. При подписании конвенции каждая договаривающаяся страна, в том числе Россия, взяла на себя ряд обязательств, среди которых видное место занимает разработка национальной стратегии, планов и программ сохранения, восстановления и регулирования БР. При этом следует учитывать, что биоразнообразие многомерно, и в целом выделяются три основных его уровня: генетическое, видовое и разнообразие экосистем [1]. В монодоминантных бореальных лесах России с четко выраженными главными породами наиболее важно генетическое разнообразие пород-лесообразователей, определяющее их так называемую индивидуальную изменчивость. Эти вопросы разрабатывают генетика и селекция. Фитоценотическое БР отходит на второй план, а сохранение видового БР вообще неактуально [3].

Для повышения качества и эффективности лесовосстановительных работ, расширения биологического разнообразия лесов Нижегородской области проводится большая работа по созданию постоянной лесосеменной базы на селекционно-генетической основе. С этой целью в области отобрано и аттестовано 971 плюсовое дерево, из них 535 – сосны, 295 – ели и 141 –

лиственницы Сукачева. Выделено и взято под охрану 240 га плюсовых насаждений, генетический резерват на площади 414 га.

Заложено 361,4 га лесосеменных плантаций, в том числе 161,1 га сосны, 34,5 га ели, 141 га лиственницы Сукачева, 3 га березы карельской. На 179 га начинается плодоношение. Лесосеменные плантации состоят из 1076 клонов плюсовых деревьев. Для сохранения генетического потомства плюсовых деревьев заложено 53,7 га архивов их клонов. Создано 46,5 га испытательных культур, где проверяются наследственные свойства по семенному потомству 515 плюсовых деревьев. Заложено 1,3 тыс. га постоянных лесосеменных участков, на 414 га начинается плодоношение.

В 2000 г. на объектах постоянной лесосеменной базы заготовлено 389 кг лесных семян, в том числе 179 кг с улучшенными свойствами. Выращено 1,2 млн экз. высококачественного посадочного материала. В 2002 г. заложено 313 га лесных культур посадочным материалом, выращенным из семян с улучшенными наследственными свойствами. Всего по области такие культуры созданы на площади 6,1 тыс. га.

В Волжском опытном лесхозе институтом Росгипролес разработан рабочий проект создания лесосеменной плантации повышенной генетической ценности из лиственницы Сукачева. Отобрано 50 деревьев – кандидатов в элиту. В настоящее время идет закладка лесосеменных плантаций черенками с этих деревьев и испытательных культур по проверке их наследственных свойств.

Центром лесного семеноводства Министерства природных ресурсов Российской Федерации (Центрлессем) ведется работа по составлению рабочего проекта «Создания лесосеменной плантации повышенной ценности сосны обыкновенной» в Семеновском спецлесхозе. В 1999 г. приобретено и смонтировано оборудование для выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в пластмассовых контейнерах. С 1999 г. по 2001 г. по этой технологии выращено около 1 млн стандартных сеянцев, которыми заложены лесные культуры на площади 188 га. По данным осенней инвентаризации, приживаемость культур составила 96,5 % при плановой 92,0 %.

Экономия затрат от внедрения новой технологии посадки леса в 2000 г. составила 20,3 %, или 584 р. (стоимость выращивания 1 га лесных культур по обычной технологии 2696 р., по новой 2148 р.), в 2001 г. – 700 тыс. р. За 2000–2001 гг. экономическая эффективность достигнута в сумме 124,6 тыс. р.

В 2001–2005 гг. планируется довести объем выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой до 3 млн сеянцев, что необходимо для ежегодной закладки лесных культур на площади 1 тыс. га. Ожидаемый экономический эффект при этом в 2005 г. составит 700 тыс. р. (в ценах 2001 г.).

Лесовосстановительные работы в лесах гослесфонда включают также меры содействия естественному возобновлению, одним из видов которого является сохранение подростка при рубке леса. В 2000 г. содействие есте-

ственному возобновлению выполнено на площади 1974 га, подрост сохранен на 1109 га. Затраты на 1 га содействия составили 69 р., а себестоимость закладки и выращивания 1 га лесных культур до 20-летнего возраста 3,2 тыс. р. Экономия равна 3,1 тыс. р., а в целом экономическая эффективность 3437,9 тыс. р.

Лесорастительные условия Нижегородской области позволяют ежегодно проводить содействие естественному возобновлению леса за счет сохранения подроста на площади 2 тыс. га. В результате может быть достигнут ежегодный экономический эффект в сумме 6,2 млн р.

Внедрение в производство современных технологий, выпуск новых видов лесной продукции позволят существенно повысить эффективность использования лесов области. С открытием новых производств возрастет занятость населения лесных районов, увеличится налогооблагаемая база, что самым серьезным образом скажется на увеличении доходной части, в первую очередь областного бюджета. Значительно улучшится экологическая ситуация.

Нижегородская область, обладающая колоссальным научным и производственным потенциалом, большим объемом лесных ресурсов, имеет все возможности для решения проблемы повышения доходности лесного комплекса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Исаев А.С., Носова Л.М., Пузаченко Ю.Г.* Биологическое разнообразие лесов России – предложения к программе действий // Лесоведение. – 1997. – № 2. – С. 3–13.
2. *Кукуев Ю.А.* Задачи лесного хозяйства Российской Федерации в XXI в. // Лесн. хоз-во. – 2001. – № 2. – С. 2–5.
3. *Мамаев С.А., Махнев А.К.* Проблемы биологического разнообразия и его поддержания в лесных экосистемах // Лесоведение. – 1996. – № 5. – С. 3–10.
4. *Невидомов А.М.* Состояние пойменных дубрав Волжского бассейна // Лесоведение. – 1996. – № 6. – С. 3–15.

Правительство Нижегородской области

Департамент природных ресурсов  
по Приволжскому региону

ЦНИЛХИ

Поступила 25.06.02



---

*N.N. Dovbnya, S.A. Naumov, A.M. Nevidomov*

**Ways of Enhancing Efficiency of Nishny Novgorod Forests Use**

The main directions of enhancing efficiency of forest use have been defined: involvement of specially protected natural territories in the production turnover, development of rental relations, revival of tapping production, utilization of unmarketable and low-grade timber, intensification of secondary use of forests, establishment of target plantations, measures on improving quality of reforestation operations.





## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 629.114.4.001.2

**Е.В. Платонова**

Платонова Елена Вячеславовна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры промышленного транспорта АГТУ. Область научных интересов – изучение скорости движения лесовозных автопоездов.

**ВЛИЯНИЕ ТИПА ПОКРЫТИЯ ДОРОГИ  
НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ**

Представлены результаты влияния типов покрытия дорог на скорости движения автопоездов. Показано, что при увеличении числа прицепов-ропусков разница в скоростях увеличивается.

время хода, продольный профиль, тип покрытия, автопоезд, прицеп-ропуск.

Средняя техническая скорость движения лесовозных автопоездов – основной параметр при расчетах производительности автомобилей на вывозке леса и потребности в них для лесозаготовительных предприятий. Скорость зависит от многих факторов, таких как характер продольного профиля, конструкция дорожной одежды и др.

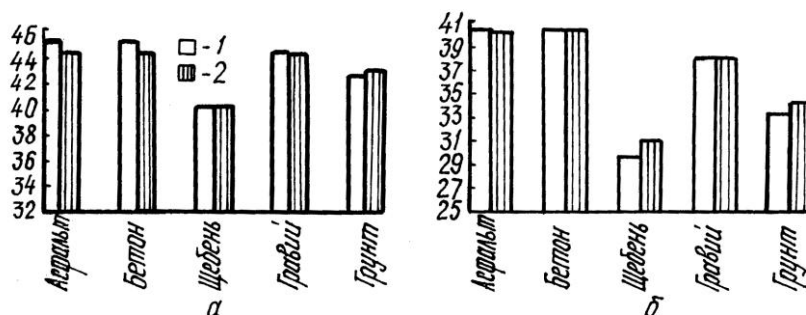
Цель данной работы – показать, как влияет определенный тип покрытия на скорость движения автопоезда.

Были проведены исследования на участках двух дорог. Первый участок, расположенный на дороге Илеза – Молочиха в Устьянском районе Архангельской области, проходит по равнинному рельефу с максимальным продольным уклоном 28 ‰; второй на Тегринской лесовозной дороге Вельского района Архангельской области – по пересеченному рельефу с уклоном 46 ‰. Протяженность участков 8,5 км. В качестве экспериментального автомобиля принят лесовоз КрАЗ-6437 с прицепом-ропуском ГКБ-9362.

С помощью компьютерных программ, разработанных на кафедре промышленного транспорта АГТУ\*, были построены продольные профили исследуемых дорог и рассчитано время хода автопоезда в грузовом и порожняковом направлениях на дорогах с различными типами покрытий. При построении продольного профиля в качестве исходных данных принимали материалы изысканий (пикетажные отметки и отметки поверхности земли);

---

\* Морозов С.И. и др. Решение лесотранспортных задач с помощью персональных ЭВМ / С.И. Морозов, Н.Н. Буторин, Б.В. Уваров, Р.Л. Коровкин: Учеб. пособие. – Архангельск: РИО АГТУ, 1997. – 127 с.



Графики зависимости скорости движения автопоезда от типов покрытия дороги: *а* – КрАЗ-6437+ГКБ-9362; *б* – КрАЗ-6437+3 (ГКБ-9362); 1 – дорога Илеза – Молочиха; 2 – Тернинская

при расчете времени хода – нагрузке на рейс, предельно допустимую скорость. Далее определяли скорость движения как среднегармоническое значение скоростей в различных направлениях.

Исследования показали, что для усовершенствованного типа покрытия (асфальт, бетон) различия в скоростях движения автопоездов не наблюдаются (0,4 %), в то время как для переходного (щебень, гравий, грунт) разница составляет 11 % для обоих участков дорог. На рис. *а* приведены графики зависимости скорости движения от типа покрытия дороги.

Были исследованы также скорости лесовоза КрАЗ-6437 и трех прицепов-ропусков ГКБ-9362. В случае усовершенствованного типа покрытия расхождения оказались незначительными (0,2 %), переходного – 27 и 23 % соответственно для 1-го и 2-го участков дорог. Результаты исследования представлены на рис. *б*.

Итак, полученные данные свидетельствуют о влиянии различных типов покрытия на скорость движения лесовозного автопоезда. Они могут быть использованы при проектировании дорог в проектных организациях и лесозаготовительных предприятиях.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 17.02.02

*E.V. Platonova*

### **Influence of Pavement Type on Driving Speed**

The results of influence of pavement types on driving speed of truck trains are presented. It is shown that difference in speed grows at increasing a number of timber drags.

**УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,  
ПОМЕЩЕННЫХ В « ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ »  
в 2002 г.**

- Котов М.М., Романов Е.М.** Проблемы кадрового и научного сопровождения лесного комплекса в Среднем Поволжье. № 4-11.
- Ощепков Г.С.** Марийский государственный технический университет: прошлое и настоящее. № 4-7.  
ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО
- Верхунов П.М.** Показатели эффективности лесоустроительного проектирования. № 4-16.
- Волжанина Е.М., Лазарева С.М.** Посевные качества семян сосны корейской. № 4-54.
- Гаврилова О.И., Савин И.К.** Изменение структуры лесфонда Республики Карелия во второй половине XX в. № 2-23.
- Главацкий Г.Д., Груманс В.М.** Информационная модель и задачи оптимизации процесса борьбы с лесными пожарами. № 1-31.
- Гусев И.И.** Площади боковой поверхности древесных стволов ели по разрядам высот для определения прироста. № 3-12.
- Демаков Ю.П.** Изменчивость и классификация форм кривых хода роста деревьев в онтогенезе. № 4-33.
- Карасева М.А.** Продуктивность и углероддепонирующие функции листовенных фитоценозов в Среднем Поволжье. № 4-22.
- Климов О.Г.** Взгляд на применение некоторых терминов в лесном хозяйстве. № 6-25.
- Кондаков С.Ю.** Организация и проведение феромонного мониторинга за непарным шелкопрядом в лесах Красноярского края. № 1-43.
- Котов М.М., Лебедева Э.П., Прохорова Е.В.** Водоудерживающая способность хвои как диагностический признак для оценки объектов единого генетико-селекционного комплекса. № 4-58.
- Кусакин А.В.** Выращивание леса в лесомелиоративном заказнике «Лебедань». № 4-27.
- Лебков В.Ф.** Аппроксимация образующей ствола и идентификация его формы функцией распределения. № 5-15.
- Луганский Н.А., Залесов С.В., Карсуков Д.М., Казанцев С.Г.** Влияние проходных рубок на таксационные показатели древостоя осушенного сосняка осоково-кустарничкового. № 3-7.
- Матвеев С.М., Чеботарев В.В.** Дендроклиматическое исследование сосняков Усманского бора и моделирование пожароопасных сезонов. № 2-36.
- Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф.** Изменчивость семян кедра сибирского в зависимости от окраски гипокотилей. № 5-34.
- Мясищев Д.Г., Малышев В.Г.** Эмпирическая оптимизация компоновки и технологических регулировок лесохозяйственного мотоплуга. № 6-27.
- Наквасина Е.Н.** Динамика рангового распределения деревьев по высоте в потомстве климатипов сосны обыкновенной. № 5-23.
- Наквасина Е.Н.** Дегидратация хвои сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области. № 6-15.
- Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю.** Ксерофитизация листьев древесных растений как показатель загрязнения атмосферного воздуха (на примере г. Кемерово). № 3-29.
- Невидомов А.М., Невидомова-Малаха Е.В.** Ассоциации пойменных дубрав Нижегородского Поволжья. № 2-7.
- Невидомов А.М., Петухов Н.В.** Экологический мониторинг лесов Нижегородской области как основа разработки и внедрения системы неотложных мероприятий по оптимизации природной среды. № 1-14.
- Неволин О.А., Третьяков С.В., Еремина О.О.** Динамика сосново-березового насаждения в типе леса сосняк-кисличник и лесоводственная эффективность рубок ухода. № 2-17.
- Петрик В.В.** Лесоводственные методы интенсификации подсоски сосновых древостоев. № 3-38.
- Петрик В.В.** Косвенные признаки смолопродуктивности сосны обыкновенной. № 6-21.

- Писанов В.С., Ульянов И.Н.** Динамика ягодниково-зеленомошного сосняка в условиях влияния водохранилища. № 1-38.
- Прохоров Л.Н., Зинин В.Ф., Слинченкова И.А.** Основы формирования новой системы технологий и машин для лесного хозяйства и защитного лесоразведения. № 3-17.
- Усольцев В.А., Усольцева Ю.В., Залесов С.В.** Географические закономерности распределения фитомассы березы в Северной Евразии. № 6-7.
- Успенский Е.И., Денисов С.А., Калинин К.К., Лоскутов С.П.** Естественное возобновление под пологом леса в Среднем Поволжье. № 4-46.
- Хакимова З.Г.** Карельская береза в Республике Марий Эл и Ульяновской области. № 4-40.
- Цветков В.Ф.** О биогеоценологическом спектре сосняков черничных свежих средней подзоны тайги. № 5-7.
- Чупров Н.П.** Уровень и динамика лесопользования в лесах Архангельской области. № 1-7.
- Чураков Б.П., Алеева Л.Р.** Структура дубовых насаждений и возможность их порослевого возобновления в дубравах Среднего Поволжья. № 1-24.
- Шелуха В.П.** Зонирование хвойных лесов при хроническом воздействии выбросов цементного производства. № 2-31.
- Штукин С.С.** Влияние химической и биологической мелиорации на рост плантационных культур сосны. № 3-33.
- Шутов И.В., Товкач Л.Н., Минакова Н.М., Сергиенко В.Г., Власов Р.В.** Значение неравномерного размещения деревьев в культурах сосны. № 1-47.
- Ярунов А.С., Петрик В.В.** Перспективы подсобного производства и исследований в области подсосочки. № 5-30.
- Буряк Е.С.** Аппроксимация экспериментальных кривых крутящего момента для полуосей лесовозного автомобиля. № 2-49.
- Буторин Н.Н.** Переходные процессы в асинхронном двигателе. № 1-68.
- Буторин Н.Н.** Транспортная сеть для освоения изолированных куртин леса. № 3-48.
- Войтко П.Ф.** Расчет нагрузки на башенный кран от действия передвижного торцевывравнителя. № 4-77.
- Воробьев В.В., Митрофанов А.А., Соколов М.О.** Проблемы водного транспорта леса и технического содержания рек. № 1-74.
- Герц Э.Ф., Азаренок В.А., Лившиц Н.В., Мехренцев А.В.** К вопросу о целесообразности применения операции подтреловки при несплошных рубках. № 3-44.
- Герц Э.Ф., Азаренок В.А., Лившиц Н.В., Мехренцев А.В.** Расчет ширины ленты, разрабатываемой манипуляторной полноповоротной лесозаготовительной машиной. № 5-47.
- Морозов В.С.** Рекомендации по выбору типа зимних автомобильных дорог на болотах. № 2-52.
- Морозов С.И., Смирнов С.Л.** Теоретические основы методики расследования дорожно-транспортных происшествий. № 2-42.
- Морозов С.И., Шостенко Д.Н.** Уравнение связи для решения задач удара. № 1-56.
- Морозов С.И., Шостенко Д.Н.** Связь между классической и контактной теориями удара. № 5-39.
- Полетайкин В.Ф.** Моделирование эксплуатационных режимов лесопогрузчиков. № 6-33.
- Сергеев М.С., Овчинников М.М.** О взаимодействии реевого бона со свободным речным потоком. № 1-61.
- Смирнов М.Ю.** Расчет допустимой полезной нагрузки транспортного средства с навесным гидроманипулятором. № 4-71.
- Суворов Г.Я.** Определение параметров движения сплочной единицы после спуска на воду. № 5-52.
- Федоренчик А.С., Макаревич С.С., Протас П.А.** Аналитическое исследование колесообразования на трелевочных волоках, укрепленных отходами лесозаготовок. № 1-80.

#### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Аллилуев В.А., Попов В.Д., Сидыганов Ю.Н., Каледин Г.В.** Определение индикаторных показателей двигателей внутреннего сгорания. № 4-83.
- Багаутдинов И.Н., Шестаков Я.И.** Оценка влияния неплоскостности опорного кольца опорно-поворотного круга платформы машины ЛП-19В на напряженное состояние механизма поворота. № 4-65.

**Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П.** Технология разработки лесосек с использованием машин для трелевки сортиментов. № 3-50.

**Ширнин Ю.А.** Комплексное освоение участков лесного фонда. № 4-89.

**Штоллманн В.** Роботы при валке дерева. № 6-37.

#### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

**Алексеева Л.В.** К определению мощности участка лесопиления на базе однопильного ленточнопильного станка. № 5-76.

**Бротте Т., Варфоломеева Е., Мартинсен О.** Защитная обработка деревянных строительных изделий с учетом перспективы экспорта. № 5-81.

**Варфоломеев Ю.А., Амбросевич М.А.** Оптимизация рецептуры антисептиков по критерию стоимости с учетом защищающей способности. № 3-62.

**Варфоломеев Ю.А., Баданина Л.А.** Исследование режимов защитной пропитки древесины в автоклавах. № 5-94.

**Варфоломеев Ю.А., Баданина Л.А.** Влияние анизотропии строения и свойств древесины на расчет ее воздухопроницаемости. № 6-60.

**Воронцов Ю.Ф., Суровцева Л.С.** Эффективность специализации лесопильных предприятий по группам диаметров пиловочного сырья. № 5-89.

**Галиахметов Р.Н., Варфоломеев Ю.А., Галиахметова Ф.Ф.** Оценка эксплуатационных свойств биологически активного препарата. № 1-111.

**Капишников А.П.** Электронная версия *ida*-диаграммы. № 2-61.

**Копейкин А.М.** Проблемы рационального использования мягколиственного сырья в производстве пилопродукции. № 2-66.

**Курицын В.Н., Шилохвостова Е.С.** Влияние влажности древесины на динамику процесса пиления. № 6-48.

**Левинский Ю.Б., Левинская Г.Н.** Расчетно-аналитические методы оценки новых способов раскря тонкого пиловочного сырья. № 3-57.

**Малыгин В.И., Кремлева.** Методика расчета динамических параметров процесса фрезерования древесины с учетом кинематической нестабильности технологической системы. № 1-95.

**Мусихина Л.А.** Квалиметрия березовых лесоматериалов. № 4-105.

**Науменко Ю.В.** Определение параметров привода горизонтальных барабанных машин, частично заполненных обрабатываемым материалом. № 5-67.

**Онегин В.И., Цой Ю.И., Богданов В.А.** Акустические характеристики органических растворимых лакокрасочных материалов. № 1-90.

**Петровский В.С., Сафонов А.О.** Исследование закономерностей удаления влаги из древесных частиц в прямоточных барабанных сушилках. № 6-42.

**Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И., Банников А.А.** Исследование устойчивости пилы ленточнопильного станка с отжимными контактными направляющими. № 5-59.

**Торопов А.С., Домрачев А.П.** Обоснование мест и числа замеров при моделировании предмета труда в деревообрабатывающих производствах. № 4-96.

**Тудейко В.В., Снопков В.Б.** Прессование древесностружечных плит увеличенной толщины. 4. Удаление парогазовой смеси из древесностружечного брикета. № 1-104.

**Харчевников В.И., Стородубцева Т.Н.** Упругие характеристики древесины сосны – армирующего заполнителя композиционных материалов на основе полимерного и цементного связующих. № 6-52.

**Шобанов Л.Н., Демитрова И.П.** Применение компьютерного пакета Mechanical Desktop 6.0 при проектировании изделий из древесины. № 4-102.

#### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

**Боголицын К.Г., Горбова Н.С., Косяков Д.С., Власова О.С., Кошелева А.Е.** Характеристика кислотно-основных свойств модельных соединений лигнина в системе ДМСО – вода. № 5-99.

**Боголицын К.Г., Попова Н.Р., Скребец Т.Э., Кошелева А.Е.** Делигнификация древесины, катализируемая соединениями металлов переменной валентности. № 6-67.

**Вураско А.В., Жвирблите А.-В.К., Агеев А.Я., Меньшиков С.Ю., Сухинина Н.В.** Исследование эффективности действия антрахинона при натронной варке

- древесины березы. 1. Влияние антрахинона на лигноуглеводный комплекс. № 6-91.
- Гогелашвили Г.Ш., Грунин Ю.Б., Кречетов А.А., Ладычук Д.В.** Исследование доступности целлюлозы к дейтерированию. № 4-119.
- Горбунова О.Ф., Вербицкая С.А., Боголицын К.Г.** Баланс соединений азота, образующихся при азотнокислотно-щелочной делигнификации древесины в водной и водно-этанольной средах. № 3-108.
- Грунин Ю.Б., Бакиева Д.Р., Грунин Л.Ю.** Гидрофильные свойства целлюлозных материалов. № 4-109.
- Дьякова Е.В., Миловидова Л.А., Комаров В.И., Коробейникова Т.Н., Лукина М.Н.** Влияние различных модификаций нейтрально-сульфитной варки на физико-механические свойства полуцеллюлозы. № 6-85.
- Ермаков С.Г., Хакимова Ф.Х.** Разработка технологии комплексной утилизации отходов окорки древесины (часть 1). № 5-108.
- Жвакина О.А., Гельфанд Е.Д.** О совместной переработке осадков сточных вод ЦБП с золой ТЭС. № 3-114.
- Комаров В.И., Прокшин Г.Ф., Филиппов И.Б.** Влияние условий варки на деформативность и прочность крафт-этанольной целлюлозы. № 1-122.
- Королева Т.А., Комарова Г.В., Комаров В.И., Миловидова Л.А.** Влияние предварительных кислых обработок перед отбелкой на показатели лиственной сульфатной целлюлозы. № 3-122.
- Лисиенко В.Г., Бабин А.И., Лискин В.А., Овчинников С.Г., Дукки Е. И.** Методика полного энергетического анализа и расчет технологических топливных чисел в производстве бумаги. № 5-124.
- Малков А.В., Боголицын К.Г., Айзенштадт А.М., Косяков Д.С.** Влияние электролитов на кинетику окисления родственных лигнину фенолов системой  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} - [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ . № 6-114.
- Медведева С.А., Александрова Г.П., Танцырев А.П.** Гель-проникающая хроматография арабиногалактана. № 6-108.
- Мискевич И.В., Боголицын К.Г.** Некоторые особенности статистического анализа параметров качества вод приливных устьев рек. № 3-98.
- Никулин С.С., Сахокия И.А., Дмитриенков А.И., Филимонова О.Н., Болдырев В.С., Хохлова О.А.** Сополимеры на основе кубовых остатков ректификации стирола – модификаторы древесины. № 2-77.
- Пузырев С.С.** Изменение свойств МДМ и бумаги на ее основе при многократной переработке и использовании в композиции макулатуры и оборотного брака. № 3-69.
- Самылова О.А., Айзенштадт А.М., Боголицын К.Г., Богданов М.В., Чухчин Д.Г., Морозова Ю.Г.** Эффективный потенциал лгвинных малоизмененных препаратов лигнина в водно-щелочной среде. № 6-98.
- Селянина Л.И., Коптелов А.Е.** Перегонка с водяным паром – эффективный способ регулирования качества таллового масла. № 5-115.
- Смотрина Т.В., Кулакова Л.П., Грунин Ю.Б.** Влияние механического модифицирования на гидрофильные свойства технической целлюлозы. № 4-114.
- Третьяков С.И.** Математическая модель массообмена в процессе извлечения скипидара из древесины. № 2-93.
- Третьяков С.И.** Исследование кинетики массопереноса при извлечении скипидара из древесины. № 2-100.
- Третьяков С.И.** Выделение таллового масла при разложении сульфатного мыла с использованием ультразвука. № 3-82.
- Третьяков С.И.** Применение парциальной конденсации при ректификации таллового масла для улучшения качества продуктов. № 3-92.
- Фокина Л.Ю., Дубовый В.К., Чижов Г.И.** Упрочнение бумагоподобных композиций на основе стеклянных волокон с помощью полигидроксикомплексов алюминия. № 3-77.
- Хакимова Ф.Х., Носкова О.А., Ковтун Т.Н.** Изменение физико-химических свойств целлюлозы в процессе получения целлюлозного порошка. № 2-71.
- Царев Г.И.** Кинетические закономерности взаимодействия ДВП с вводимыми до-

бавками на стадии термообработки. № 2-86.

**Чемерис М.М., Мусько Н.П., Коньшин В.В., Шабалин В.Г.** Ацилирование лигноцеллюлозных материалов в среде трифторуксусной кислоты. № 1-116.

#### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

**Ахмадеева М.М.** Методологические аспекты проблемы оценки лесных земель. № 4-123.

**Воронин А.В.** Оптимизация и управление ремонтно-механическими производствами комплексных лесопромышленных предприятий. № 3-127.

**Довбня Н.Н., Наумов С.А., Невидомов А.М.** Пути повышения эффективности использования нижегородских лесов. № 6-127.

**Кожухов Н.И., Муслимов И.Б.** Показатели эффективности управления производством и сбытом целлюлозно-бумажной продукции. № 6-121.

**Лисица М.И.** Использование теории арбитражного ценообразования для оценки отраслевого инвестиционного риска на примере целлюлозно-бумажной промышленности. № 2-109.

**Стрельникова Н.М., Родионова Е.В.** Реформирование процесса планирования оборотных средств в деревообрабатывающей промышленности. № 4-133.

**Чернякевич Л.М.** К вопросу трансформации системы управления лесным хозяйством. № 4-128.

#### МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

**Ефремов А.А., Соколов О.М., Варфоломеев Ю.А.** Производственная подготовка инженерных кадров в студенческих строительных отрядах (на примере Архангельской области). № 1-132.

**Молнар Я.Ф.** Опыт аттестации руководителей и специалистов по заказам предприятий. № 5-133.

**Федюков В.И.** Особенности подготовки лесоведов и лесных товароведов в современных условиях. № 4-139.

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

**Агеев С.П.** Моделирование групповых графиков нагрузки электрических сетей лесопильного цеха. № 2-121.

**Бротте Т., Варфоломеева Е., Мартинсен О.** Различия скандинавских и российских стандартов по защитной обработке древесины. № 3-138.

**Исаева Е.Н., Самошкин Е.Н.** Содержание аскорбиновой кислоты в плодах калины обыкновенной Брянского округа зоны широколиственных лесов. № 2-114.

**Кунтыш В.Б., Позднякова А.В., Мелехов В.И.** Теплоотдача естественной конвекцией одиночного ряда вертикальных оребренных труб калориферов лесосушильных камер. № 2-116.

**Морозова О.Г., Бабаева Н.Н., Репях С.М., Морозов С.В., Родионов М.В.** Влияние затопленных растительных остатков на гидрохимический режим водоема-охладителя Березовской ГРЭС-1. № 1-140.

**Платонова Е.В.** Влияние типа покрытия дороги на скорость движения. № 6-137.

**Филимонкова Е.Ю.** Рост и состояние живых еловых изгородей вдоль федеральной автомобильной дороги в Архангельской области. № 5-140.

#### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

**Бабич Н.А.** Книга о северном лесостроительстве. № 2-128.

**Бабич Н.А.** Интересная книга. № 2-133.

**Бабич Н.А.** Структурные аномалии стебля древесных растений. № 5 (обл., с. 2).

**Мелехов В.И.** Новая книга о лесоведении. № 2-134.

**Редько Г.И.** Весомый вклад в теорию и практику лесного семеноводства. № 1-144.

**Усольцев В.А.** О книге Ю.В. Лебедева. № 2-129.

**Цыплаков В.В., Проезов П.Н., Перов В.Ф., Филатов В.Н.** Новый учебник по лесным культурам. № 5-144.

**Чижов Г.И.** Новая книга в области контроля качества бумаги и картона. № 5 (обл., с. 146).



## КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

**Уголев Б.Н.** Сессия и семинар Координационного совета по древесиноведению в Черноголовке. № 2-137.

## ЮБИЛЕИ

**Коллеги и ученики.** Георгий Иванович Чижов. № 2-139.

**Ректорат Архангельского государственного технического университета.** Поздравляем с юбилеем! № 2-142.

**Сухоруких Ю.И.** Одержимый ученый. № 2-140.

## НЕКРОЛОГИ

**Бондарев В.Я., Невидомов А.М., Киров А.М., Довбня Н.Н., Наумов С.А., Хлю-**

**стов В.К., Федоров В.А., Нефедов А.А.** Памяти Яльмара Георгиевича Дрочнева. № 3-144.

**Коллеги, ученики.** Владимир Самойлович Соминский. № 3-144.

**Ректорат и коллектив Санкт-Петербургского государственного университета растительных полимеров, редколлегия и редакция «Лесного журнала».** Памяти Отто Алексеевича Терентьева. № 4-143.

**ФГУП ЦНИЛХИ, Архангельский государственный технический университет, С.-Петербургская лесотехническая академия.** Памяти Владимира Ивановича Лисова. № 6 (обл., с. 145).



**УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,  
ПОМЕЩЕННЫХ В « ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ »  
в 2002 г.**

- Котов М.М., Романов Е.М.** Проблемы кадрового и научного сопровождения лесного комплекса в Среднем Поволжье. № 4-11.
- Ощепков Г.С.** Марийский государственный технический университет: прошлое и настоящее. № 4-7.  
ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО
- Верхунов П.М.** Показатели эффективности лесоустроительного проектирования. № 4-16.
- Волжанина Е.М., Лазарева С.М.** Посевные качества семян сосны корейской. № 4-54.
- Гаврилова О.И., Савин И.К.** Изменение структуры лесфонда Республики Карелия во второй половине XX в. № 2-23.
- Главацкий Г.Д., Груманс В.М.** Информационная модель и задачи оптимизации процесса борьбы с лесными пожарами. № 1-31.
- Гусев И.И.** Площади боковой поверхности древесных стволов ели по разрядам высот для определения прироста. № 3-12.
- Демаков Ю.П.** Изменчивость и классификация форм кривых хода роста деревьев в онтогенезе. № 4-33.
- Карасева М.А.** Продуктивность и углеродопонирующие функции листовенных фитоценозов в Среднем Поволжье. № 4-22.
- Климов О.Г.** Взгляд на применение некоторых терминов в лесном хозяйстве. № 6-25.
- Кондаков С.Ю.** Организация и проведение феромонного мониторинга за непарным шелкопрядом в лесах Красноярского края. № 1-43.
- Котов М.М., Лебедева Э.П., Прохорова Е.В.** Водоудерживающая способность хвои как диагностический признак для оценки объектов единого генетико-селекционного комплекса. № 4-58.
- Кусакин А.В.** Выращивание леса в лесомелиоративном заказнике «Лебедань». № 4-27.
- Лебков В.Ф.** Аппроксимация образующей ствола и идентификация его формы функцией распределения. № 5-15.
- Луганский Н.А., Залесов С.В., Карсуков Д.М., Казанцев С.Г.** Влияние проходных рубок на таксационные показатели древостоя осушенного сосняка осоково-кустарничкового. № 3-7.
- Матвеев С.М., Чеботарев В.В.** Дендроклиматическое исследование сосняков Усманского бора и моделирование пожароопасных сезонов. № 2-36.
- Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф.** Изменчивость семян кедра сибирского в зависимости от окраски гипокотилей. № 5-34.
- Мясищев Д.Г., Малышев В.Г.** Эмпирическая оптимизация компоновки и технологических регулировок лесохозяйственного мотоплуга. № 6-27.
- Наквасина Е.Н.** Динамика рангового распределения деревьев по высоте в потомстве климатипов сосны обыкновенной. № 5-23.
- Наквасина Е.Н.** Дегидратация хвои сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области. № 6-15.
- Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю.** Ксерофитизация листьев древесных растений как показатель загрязнения атмосферного воздуха (на примере г. Кемерово). № 3-29.
- Невидомов А.М., Невидомова-Малаха Е.В.** Ассоциации пойменных дубрав Нижегородского Поволжья. № 2-7.
- Невидомов А.М., Петухов Н.В.** Экологический мониторинг лесов Нижегородской области как основа разработки и внедрения системы неотложных мероприятий по оптимизации природной среды. № 1-14.
- Неволин О.А., Третьяков С.В., Еремина О.О.** Динамика сосново-березового насаждения в типе леса сосняк-кисличник и лесоводственная эффективность рубок ухода. № 2-17.
- Петрик В.В.** Лесоводственные методы интенсификации подсоски сосновых древостоев. № 3-38.
- Петрик В.В.** Косвенные признаки смолопродуктивности сосны обыкновенной. № 6-21.

- Писанов В.С., Ульянов И.Н.** Динамика ягодниково-зеленомошного сосняка в условиях влияния водохранилища. № 1-38.
- Прохоров Л.Н., Зинин В.Ф., Слинченкова И.А.** Основы формирования новой системы технологий и машин для лесного хозяйства и защитного лесоразведения. № 3-17.
- Усольцев В.А., Усольцева Ю.В., Залесов С.В.** Географические закономерности распределения фитомассы березы в Северной Евразии. № 6-7.
- Успенский Е.И., Денисов С.А., Калинин К.К., Лоскутов С.П.** Естественное возобновление под пологом леса в Среднем Поволжье. № 4-46.
- Хакимова З.Г.** Карельская береза в Республике Марий Эл и Ульяновской области. № 4-40.
- Цветков В.Ф.** О биогеоценологическом спектре сосняков черничных свежих средней подзоны тайги. № 5-7.
- Чупров Н.П.** Уровень и динамика лесопользования в лесах Архангельской области. № 1-7.
- Чураков Б.П., Алеева Л.Р.** Структура дубовых насаждений и возможность их порослевого возобновления в дубравах Среднего Поволжья. № 1-24.
- Шелуха В.П.** Зонирование хвойных лесов при хроническом воздействии выбросов цементного производства. № 2-31.
- Штукин С.С.** Влияние химической и биологической мелиорации на рост плантационных культур сосны. № 3-33.
- Шутов И.В., Товкач Л.Н., Минакова Н.М., Сергиенко В.Г., Власов Р.В.** Значение неравномерного размещения деревьев в культурах сосны. № 1-47.
- Ярунов А.С., Петрик В.В.** Перспективы подсобного производства и исследований в области подсосочки. № 5-30.
- Буряк Е.С.** Аппроксимация экспериментальных кривых крутящего момента для полуосей лесовозного автомобиля. № 2-49.
- Буторин Н.Н.** Переходные процессы в асинхронном двигателе. № 1-68.
- Буторин Н.Н.** Транспортная сеть для освоения изолированных куртин леса. № 3-48.
- Войтко П.Ф.** Расчет нагрузки на башенный кран от действия передвижного торцевывравнителя. № 4-77.
- Воробьев В.В., Митрофанов А.А., Соколов М.О.** Проблемы водного транспорта леса и технического содержания рек. № 1-74.
- Герц Э.Ф., Азаренок В.А., Лившиц Н.В., Мехренцев А.В.** К вопросу о целесообразности применения операции подтреловки при несплошных рубках. № 3-44.
- Герц Э.Ф., Азаренок В.А., Лившиц Н.В., Мехренцев А.В.** Расчет ширины ленты, разрабатываемой манипуляторной полноповоротной лесозаготовительной машиной. № 5-47.
- Морозов В.С.** Рекомендации по выбору типа зимних автомобильных дорог на болотах. № 2-52.
- Морозов С.И., Смирнов С.Л.** Теоретические основы методики расследования дорожно-транспортных происшествий. № 2-42.
- Морозов С.И., Шостенко Д.Н.** Уравнение связи для решения задач удара. № 1-56.
- Морозов С.И., Шостенко Д.Н.** Связь между классической и контактной теориями удара. № 5-39.
- Полетайкин В.Ф.** Моделирование эксплуатационных режимов лесопогрузчиков. № 6-33.
- Сергеев М.С., Овчинников М.М.** О взаимодействии реевого бона со свободным речным потоком. № 1-61.
- Смирнов М.Ю.** Расчет допустимой полезной нагрузки транспортного средства с навесным гидроманипулятором. № 4-71.
- Суоров Г.Я.** Определение параметров движения сплочной единицы после спуска на воду. № 5-52.
- Федоренчик А.С., Макаревич С.С., Протас П.А.** Аналитическое исследование колесообразования на трелевочных волоках, укрепленных отходами лесозаготовок. № 1-80.

#### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Аллилуев В.А., Попов В.Д., Сидыганов Ю.Н., Каледин Г.В.** Определение индикаторных показателей двигателей внутреннего сгорания. № 4-83.
- Багаутдинов И.Н., Шестаков Я.И.** Оценка влияния неплоскостности опорного кольца опорно-поворотного круга платформы машины ЛП-19В на напряженное состояние механизма поворота. № 4-65.

**Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П.** Технология разработки лесосек с использованием машин для трелевки сортиментов. № 3-50.

**Ширнин Ю.А.** Комплексное освоение участков лесного фонда. № 4-89.

**Штоллманн В.** Роботы при валке дерева. № 6-37.

#### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

**Алексеева Л.В.** К определению мощности участка лесопиления на базе однопильного ленточнопильного станка. № 5-76.

**Бротте Т., Варфоломеева Е., Мартинсен О.** Защитная обработка деревянных строительных изделий с учетом перспективы экспорта. № 5-81.

**Варфоломеев Ю.А., Амбросевич М.А.** Оптимизация рецептуры антисептиков по критерию стоимости с учетом защищающей способности. № 3-62.

**Варфоломеев Ю.А., Баданина Л.А.** Исследование режимов защитной пропитки древесины в автоклавах. № 5-94.

**Варфоломеев Ю.А., Баданина Л.А.** Влияние анизотропии строения и свойств древесины на расчет ее воздухопроницаемости. № 6-60.

**Воронцов Ю.Ф., Суровцева Л.С.** Эффективность специализации лесопильных предприятий по группам диаметров пиловочного сырья. № 5-89.

**Галиахметов Р.Н., Варфоломеев Ю.А., Галиахметова Ф.Ф.** Оценка эксплуатационных свойств биологически активного препарата. № 1-111.

**Капишников А.П.** Электронная версия *ida*-диаграммы. № 2-61.

**Копейкин А.М.** Проблемы рационального использования мягколиственного сырья в производстве пилопродукции. № 2-66.

**Курицын В.Н., Шилохвостова Е.С.** Влияние влажности древесины на динамику процесса пиления. № 6-48.

**Левинский Ю.Б., Левинская Г.Н.** Расчетно-аналитические методы оценки новых способов раскря тонкого пиловочного сырья. № 3-57.

**Малыгин В.И., Кремлева.** Методика расчета динамических параметров процесса фрезерования древесины с учетом кинематической нестабильности технологической системы. № 1-95.

**Мусихина Л.А.** Квалиметрия березовых лесоматериалов. № 4-105.

**Науменко Ю.В.** Определение параметров привода горизонтальных барабанных машин, частично заполненных обрабатываемым материалом. № 5-67.

**Онегин В.И., Цой Ю.И., Богданов В.А.** Акустические характеристики органо-растворимых лакокрасочных материалов. № 1-90.

**Петровский В.С., Сафонов А.О.** Исследование закономерностей удаления влаги из древесных частиц в прямоточных барабанных сушилках. № 6-42.

**Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И., Банников А.А.** Исследование устойчивости пилы ленточнопильного станка с отжимными контактными направляющими. № 5-59.

**Торопов А.С., Домрачев А.П.** Обоснование мест и числа замеров при моделировании предмета труда в деревообрабатывающих производствах. № 4-96.

**Тудейко В.В., Снопков В.Б.** Прессование древесностружечных плит увеличенной толщины. 4. Удаление парогазовой смеси из древесностружечного брикета. № 1-104.

**Харчевников В.И., Стородубцева Т.Н.** Упругие характеристики древесины сосны – армирующего заполнителя композиционных материалов на основе полимерного и цементного связующих. № 6-52.

**Шобанов Л.Н., Демитрова И.П.** Применение компьютерного пакета Mechanical Desktop 6.0 при проектировании изделий из древесины. № 4-102.

#### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

**Боголицын К.Г., Горбова Н.С., Косяков Д.С., Власова О.С., Кошелева А.Е.** Характеристика кислотно-основных свойств модельных соединений лигнина в системе ДМСО – вода. № 5-99.

**Боголицын К.Г., Попова Н.Р., Скребец Т.Э., Кошелева А.Е.** Делигнификация древесины, катализируемая соединениями металлов переменной валентности. № 6-67.

**Вураско А.В., Жвирблите А.-В.К., Агеев А.Я., Меньшиков С.Ю., Сухинина Н.В.** Исследование эффективности действия антрахинона при натронной варке

- древесины березы. 1. Влияние антрахинона на лигноуглеводный комплекс. № 6-91.
- Гогелашвили Г.Ш., Грунин Ю.Б., Кречетов А.А., Ладычук Д.В.** Исследование доступности целлюлозы к дейтерированию. № 4-119.
- Горбунова О.Ф., Вербицкая С.А., Боголицын К.Г.** Баланс соединений азота, образующихся при азотнокислотно-щелочной делигнификации древесины в водной и водно-этанольной средах. № 3-108.
- Грунин Ю.Б., Бакиева Д.Р., Грунин Л.Ю.** Гидрофильные свойства целлюлозных материалов. № 4-109.
- Дьякова Е.В., Миловидова Л.А., Комаров В.И., Коробейникова Т.Н., Лукина М.Н.** Влияние различных модификаций нейтрально-сульфитной варки на физико-механические свойства полуцеллюлозы. № 6-85.
- Ермаков С.Г., Хакимова Ф.Х.** Разработка технологии комплексной утилизации отходов окорки древесины (часть 1). № 5-108.
- Жвакина О.А., Гельфанд Е.Д.** О совместной переработке осадков сточных вод ЦБП с золой ТЭС. № 3-114.
- Комаров В.И., Прокшин Г.Ф., Филиппов И.Б.** Влияние условий варки на деформативность и прочность крафт-этанольной целлюлозы. № 1-122.
- Королева Т.А., Комарова Г.В., Комаров В.И., Миловидова Л.А.** Влияние предварительных кислых обработок перед отбелкой на показатели лиственной сульфатной целлюлозы. № 3-122.
- Лисиенко В.Г., Бабин А.И., Лискин В.А., Овчинников С.Г., Дукки Е. И.** Методика полного энергетического анализа и расчет технологических топливных чисел в производстве бумаги. № 5-124.
- Малков А.В., Боголицын К.Г., Айзенштадт А.М., Косяков Д.С.** Влияние электролитов на кинетику окисления родственных лигнину фенолов системой  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} - [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ . № 6-114.
- Медведева С.А., Александрова Г.П., Танцырев А.П.** Гель-проникающая хроматография арабиногалактана. № 6-108.
- Мискевич И.В., Боголицын К.Г.** Некоторые особенности статистического анализа параметров качества вод приливных устьев рек. № 3-98.
- Никулин С.С., Сахокия И.А., Дмитриенков А.И., Филимонова О.Н., Болдырев В.С., Хохлова О.А.** Сополимеры на основе кубовых остатков ректификации стирола – модификаторы древесины. № 2-77.
- Пузырев С.С.** Изменение свойств МДМ и бумаги на ее основе при многократной переработке и использовании в композиции макулатуры и оборотного брака. № 3-69.
- Самылова О.А., Айзенштадт А.М., Боголицын К.Г., Богданов М.В., Чухчин Д.Г., Морозова Ю.Г.** Эффективный потенциал ливных малоизмененных препаратов лигнина в водно-щелочной среде. № 6-98.
- Селянина Л.И., Коптелов А.Е.** Перегонка с водяным паром – эффективный способ регулирования качества таллового масла. № 5-115.
- Смотрина Т.В., Кулакова Л.П., Грунин Ю.Б.** Влияние механического модифицирования на гидрофильные свойства технической целлюлозы. № 4-114.
- Третьяков С.И.** Математическая модель массообмена в процессе извлечения скипидара из древесины. № 2-93.
- Третьяков С.И.** Исследование кинетики массопереноса при извлечении скипидара из древесины. № 2-100.
- Третьяков С.И.** Выделение таллового масла при разложении сульфатного мыла с использованием ультразвука. № 3-82.
- Третьяков С.И.** Применение парциальной конденсации при ректификации таллового масла для улучшения качества продуктов. № 3-92.
- Фокина Л.Ю., Дубовый В.К., Чижов Г.И.** Упрочнение бумагоподобных композиций на основе стеклянных волокон с помощью полигидроксикомплексов алюминия. № 3-77.
- Хакимова Ф.Х., Носкова О.А., Ковтун Т.Н.** Изменение физико-химических свойств целлюлозы в процессе получения целлюлозного порошка. № 2-71.
- Царев Г.И.** Кинетические закономерности взаимодействия ДВП с вводимыми до-

бавками на стадии термообработки. № 2-86.

**Чемерис М.М., Мусько Н.П., Коньшин В.В., Шабалин В.Г.** Ацилирование лигноцеллюлозных материалов в среде трифторуксусной кислоты. № 1-116.

#### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

**Ахмадеева М.М.** Методологические аспекты проблемы оценки лесных земель. № 4-123.

**Воронин А.В.** Оптимизация и управление ремонтно-механическими производствами комплексных лесопромышленных предприятий. № 3-127.

**Довбня Н.Н., Наумов С.А., Невидомов А.М.** Пути повышения эффективности использования нижегородских лесов. № 6-127.

**Кожухов Н.И., Муслимов И.Б.** Показатели эффективности управления производством и сбытом целлюлозно-бумажной продукции. № 6-121.

**Лисица М.И.** Использование теории арбитражного ценообразования для оценки отраслевого инвестиционного риска на примере целлюлозно-бумажной промышленности. № 2-109.

**Стрельникова Н.М., Родионова Е.В.** Реформирование процесса планирования оборотных средств в деревообрабатывающей промышленности. № 4-133.

**Чернякевич Л.М.** К вопросу трансформации системы управления лесным хозяйством. № 4-128.

#### МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

**Ефремов А.А., Соколов О.М., Варфоломеев Ю.А.** Производственная подготовка инженерных кадров в студенческих строительных отрядах (на примере Архангельской области). № 1-132.

**Молнар Я.Ф.** Опыт аттестации руководителей и специалистов по заказам предприятий. № 5-133.

**Федюков В.И.** Особенности подготовки лесоведов и лесных товароведов в современных условиях. № 4-139.

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

**Агеев С.П.** Моделирование групповых графиков нагрузки электрических сетей лесопильного цеха. № 2-121.

**Бротте Т., Варфоломеева Е., Мартинсен О.** Различия скандинавских и российских стандартов по защитной обработке древесины. № 3-138.

**Исаева Е.Н., Самошкин Е.Н.** Содержание аскорбиновой кислоты в плодах калины обыкновенной Брянского округа зоны широколиственных лесов. № 2-114.

**Кунтыш В.Б., Позднякова А.В., Мелехов В.И.** Теплоотдача естественной конвекцией одиночного ряда вертикальных оребренных труб калориферов лесосушильных камер. № 2-116.

**Морозова О.Г., Бабаева Н.Н., Репях С.М., Морозов С.В., Родионов М.В.** Влияние затопленных растительных остатков на гидрохимический режим водоема-охладителя Березовской ГРЭС-1. № 1-140.

**Платонова Е.В.** Влияние типа покрытия дороги на скорость движения. № 6-137.

**Филимонкова Е.Ю.** Рост и состояние живых еловых изгородей вдоль федеральной автомобильной дороги в Архангельской области. № 5-140.

#### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

**Бабич Н.А.** Книга о северном лесостроительстве. № 2-128.

**Бабич Н.А.** Интересная книга. № 2-133.

**Бабич Н.А.** Структурные аномалии стебля древесных растений. № 5 (обл., с. 2).

**Мелехов В.И.** Новая книга о лесоведении. № 2-134.

**Редько Г.И.** Весомый вклад в теорию и практику лесного семеноводства. № 1-144.

**Усольцев В.А.** О книге Ю.В. Лебедева. № 2-129.

**Цыплаков В.В., Проезов П.Н., Перов В.Ф., Филатов В.Н.** Новый учебник по лесным культурам. № 5-144.

**Чижов Г.И.** Новая книга в области контроля качества бумаги и картона. № 5 (обл., с. 146).

## КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

**Уголев Б.Н.** Сессия и семинар Координационного совета по древесиноведению в Черногловке. № 2-137.

## ЮБИЛЕИ

**Коллеги и ученики.** Георгий Иванович Чижов. № 2-139.

**Ректорат Архангельского государственного технического университета.** Поздравляем с юбилеем! № 2-142.

**Сухоруких Ю.И.** Одержимый ученый. № 2-140.

## НЕКРОЛОГИ

**Бондарев В.Я., Невидомов А.М., Киров А.М., Довбня Н.Н., Наумов С.А., Хлю-**

**стов В.К., Федоров В.А., Нефедов А.А.** Памяти Яльмара Георгиевича Дрочнева. № 3-144.

**Коллеги, ученики.** Владимир Самойлович Соминский. № 3-144.

**Ректорат и коллектив Санкт-Петербургского государственного университета растительных полимеров, редколлегия и редакция «Лесного журнала».** Памяти Отто Алексеевича Терентьева. № 4-143.

**ФГУП ЦНИЛХИ, Архангельский государственный технический университет, С.-Петербургская лесотехническая академия.** Памяти Владимира Ивановича Лисова. № 6 (обл., с. 145).

