

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

*Лесной журнал*

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

6

2006

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Заместители главного редактора:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

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

---

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 6

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

---

Сдан в набор 04.12.2006. Подписан в печать 25.01.2007. Заказ № 11  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,45. Усл. кр.-отт. 13,45.  
Уч.-изд. л. 17,79. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

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

---

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



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Н.А. Прожерина, О.А. Гвоздухина, Е.Н. Наквасина.* Показатели водного обмена ели (*Picea abies* × *P. obovata* Ledeb.) как критерии адаптации в изменяющихся условиях среды..... 7
- А.В. Жигунов, С.В. Шевчук.* Лесные культуры сосны и ели из посадочного материала, выращенного комбинированным методом..... 13
- В.А. Закамский.* Ультразвуковая диагностика стволов деревьев на наличие гнилей..... 20
- П.А. Феклистов, С.Ю. Бирюков.* Сезонный рост сосны скрученной в северной подзоне тайги..... 24
- И.В. Шутов.* Сила и слабости концепции нового Лесного кодекса..... 30

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- В.С. Морозов.* Влияние деревянного настила на несущую способность зимних автомобильных дорог..... 35
- М.С. Сергеев, М.М. Овчинников, Э.М. Гусейнов.* Модель столкновения крупногабаритной сплочной единицы с реевым боном..... 44
- В.П. Стуков.* Анализ состояния мостов с балками из клееной древесины..... 52
- В.Н. Шиловский, Е.В. Кутырев.* К вопросу о разработке системы эксплуатации лесозаготовительных машин..... 57

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- В.П. Ивановский.* Напряженное состояние дереворежущего диска..... 65
- А.С. Торопов, Е.С. Шаранов.* Исследование плотности древесины березы, пораженной сердцевинной гнилью..... 72
- Н.В. Вилейшикова, В.Б. Снопков, Н.А. Беясова.* Сравнительная оценка защитных средств от повреждений древесины грибами..... 79
- Л.С. Суровцева.* Совершенствование операций приемки и учета древесины на лесопильных предприятиях..... 83
- Ю.С. Алексеев.* Сушка древесины в камерах парового типа..... 88

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Э.И. Гермер.* Изучение суперактивного катализа кислородно-щелочной делигнификации древесины комплексами металлов переменной валентности с использованием в качестве модели 1,10-фенантролината меди (II). 4. Кислородно-щелочная варка с низкими значениями параметров как путь практической реализации суперактивного катализа..... 94
- А.Б. Коновалов.* Математическая модель процесса прессования бумажного полотна в прессах бумагоделательных машин..... 102
- А.В. Вураско, В.В. Глазырин, Ю.В. Романова.* Антрахинон – вчера, сегодня, завтра..... 109

*ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА*

- К.Б. Соколов, А.Н. Минаев, М.М. Овчинников, В.И. Пятякин, В.Б. Олофинский, Э.М. Гусейнов.* Водный транспорт леса как экономическая и экологическая составляющие развития лесопромышленного комплекса России..... 114
- А.Ю. Климов.* Экономическая оценка эффективности процессов добровольной лесной сертификации (на примере предприятий Архангельской области) 120

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- Р.С. Хамитов.* Стимуляция грунтовой всхожести семян кедрового ореха сибирского препаратом «Гумат+7»..... 127
- Г.В. Соколова.* Влияние лесных пожаров на погоду..... 128
- Г.А. Шепель, В.Ф. Надеин, Н.С. Кабеева.* Термостабилизация теплоносителя на входе в калорифер лесосушильных установок..... 132
- Б.В. Лабудин.* К обоснованию расчетной модели клееной древесины как ортогонального трансверсально-изотропного материала..... 136

*КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ*

- Б.Н. Уголев.* Сессия РКСД в Электрогорске..... 140

*ЮБИЛЕИ*

- Ректорат С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, ученики, коллеги, друзья.* Евгений Николаевич Серов.... 142
- Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2006 г. .... 144

**Уважаемые авторы и читатели журнала!**

Обращаем Ваше внимание  
на изменение номеров телефонов редакции.  
Тел./факс: (818–2) 28–76–18, тел. 21–89–01.



## CONTENTS

## FORESTRY

- N.A. Prozherina, O. A. Gvozdukhina, E. N. Nakvasina.* Water Metabolism Parameters of Spruce (*Picea abies* × *P. obovata* Ledeb.) as Adaptation Criteria in Changing Environment..... 7
- A.V. Zhigunov, S.V. Shevchuk.* Forest Cultures of Pine and Spruce from Planting Material Grown by Combined Method..... 13
- V.A. Zakamsky.* Ultrasound Diagnostics of Rot in Tree Stems..... 20
- P.A. Feklistov, S.Yu. Biryukov.* Seasonal Growth of Shore Pine in Northern Taiga Subzone..... 24
- I.V. Shutov.* Strength and Weakness of New Forest Code Concept..... 30

## WOODEXPLOITATION

- V.S. Morozov.* Wood Deck Effect on Bearing Capacity of Winter Motor Roads... 35
- M.S. Sergeev, M.M. Ovchinnikov, E.M. Gusejnov.* Collision Model of Heavy-duty Rafting Unit with Finboom..... 44
- V.P. Stukov.* Bridges' State Analysis with Laminated Wood Beams..... 52
- V.N. Shilovsky, E.V. Kutyrev.* To Question of Operation System Development for Logging Machines..... 57

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

- V.P. Ivanovsky.* Stress State of Woodcutting Disc..... 65
- A.S. Toropov, E.S. Sharapov.* Study of Birch Wood Density Affected by Firm Red Heart..... 72
- N.V. Vileyshikova, V.B. Snopkov, N. A. Belyasova.* Comparative Assessment of Protective Agents against Wood Damage by Fungi..... 79
- L.V. Surovtseva.* Perfection of Recording and Acceptance Operations of Timber at Sawmill-woodworking Enterprises..... 83
- Yu.S. Alekseev.* Drying Timber in Drying Kilns of Steam Type..... 88

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- E.I. Hermer.* Study of Superactive Catalysis of Acid-Alkaline Delignification of Wood by Complexes of Variable Valency Metals by Using 1.10-Phenanthroline Copper (II) as a Model. 4. Oxygen-alkaline Cooking with Low Parameters Value as Way of Practical Realization of Superactive Catalysis..... 94
- A.B. Konovalov.* Mathematical Model of Pressing Process of Paper Sheet in Papermaking Machines Presses..... 102
- A.V. Vurasko, V.V. Glazyrin, Yu.V. Romanov.* Anthraquinone – Yesterday, Today, Tomorrow..... 109

*ECONOMICS AND MANAGEMENT*

- K.B. Sokolov, A.N. Minaev, M.M. Ovchinnikov, V.I. Patyakin, V. B. Olofinsky, E.M. Gusejnov.* Water Transport of Wood – Economic and Ecological Constituents of Development for Wood-industrial Complex of Russia..... 114
- A.Yu. Klimov.* Economic Assessment of Voluntary Forest Certification Processes (Based on Enterprises of Arkhangelsk Region)..... 120

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING*

- R.S. Khamitov.* Soil Germination Stimulation of Siberian Cedar Seeds by «Gumat+7» Agent..... 127
- G.V. Sokolova.* Influence of Forest Fires on Weather..... 128
- G.A. Shepel, V.F. Nadein, N.S. Kabeeva.* Thermal Stabilization of Heat-carrier at Air Heater Entry of Timber Drying Plant..... 132
- B.V. Labudin.* To Substantiation of Estimated Model of Laminated Wood as Orthogonal Transversal-isotropic Material..... 136

*SCIENTIFIC AND LEARNED CONFERENCES*

- B.N. Ugolev.* Session of Regional Coordination Council on Modern Problems of Wood Science in Electrogorsk..... 140

*JUBILEES*

- Administration of Saint-Petersburg State University of Architecture and Building, followers, colleagues, friends.* Eugeny N. Serov..... 142
- Index of Articles Issued by «Lesnoi Zhurnal» in 2006..... 144



УДК 630\*181.28

**Н.А. Прожерина, О.А. Гвоздухина, Е.Н. Наквасина**

Прожерина Надежда Александровна родилась в 1973 г., окончила в 1995 г. Поморский международный педагогический университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 20 печатных работ в области экологической физиологии древесных растений.



Гвоздухина Ольга Альбертовна родилась в 1972 г., окончила в 1995 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоводства и почвоведения АГТУ. Имеет 11 печатных работ в области лесных культур и лесного семеноводства.



Наквасина Елена Николаевна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 печатных работ в области лесовосстановления и экологии экосистем.

**ПОКАЗАТЕЛИ ВОДНОГО ОБМЕНА ЕЛИ  
(*Picea abies* × *P. obovata* Ledeb.)  
КАК КРИТЕРИИ АДАПТАЦИИ  
В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ СРЕДЫ\***

Исследован адаптивный потенциал водного режима хвои ели в условиях аэротехногенного и климатического стресса. Показано, что оводненность хвои является наследуемым признаком и зависит от условий формирования популяций. Наиболее информативным показателем, реагирующим на изменения условий среды, служит критерий  $t_{50}$ , характеризующий водоудерживающую способность хвои.

*Ключевые слова:* ель, водный режим, адаптация, аэротехногенное загрязнение, климатические изменения.

Каждое растение обладает определенным набором эволюционно сформировавшихся и генетически закрепленных морфо-анатомических и физиолого-биохимических особенностей, модификационная изменчивость которых определяет возможности адаптационного потенциала организма. Адаптация растений в значительной степени зависит от их способности к поддер-

\* Исследования поддержаны грантом РФФИ-север № 05-04-97509.

жанию стабильного водного баланса растительной клетки и организма в целом, что имеет определяющее значение для жизнеобеспечения растений.

Оценить уровень водообмена растений позволяет ряд показателей, среди которых оводненность, водный дефицит, водоудерживающая способность листьев и пр. Так, варьирование содержания воды в листьях считается хорошим критерием подвижности или устойчивости водного режима, показателем способности регулировать водный баланс, адаптироваться к условиям обитания [1]. В природных условиях практически не встречается полного насыщения листьев водой. Напряженность водного режима растения характеризует водный дефицит, который определяется как разность между содержанием воды в листе в природных условиях и в листе, донасыщенном водой [3]. Водоудерживающая способность листьев зависит от морфолого-анатомических особенностей (кутикула, восковой налет, опушение и т. д.), структуры и поведения устьичного аппарата, состояния структур и функций клеток [4]. Агрегатное состояние протоплазмы и соотношение форм воды в клетке также характеризуют водоудерживающую способность клеток. Усиление процессов комплексообразования как белковой, так и небелковой природы приводит к увеличению доли связанной воды и снижению количества свободной воды в клетке [7]. Потеря клетками половины от общего содержания воды близка к пороговым значениям уровня обезвоженности. Этот показатель, критерий  $t_{50}$ , М.М. Котов [5] предложил использовать в качестве критерия стабильности оводненности тканей растения.

Цель нашего исследования – изучить изменчивость показателей водного режима ели в зависимости от факторов среды и определить возможность их использования в качестве диагностического критерия оценки адаптационных возможностей растений.

Исследование параметров водного режима позволяет выявить адаптационные возможности ели при изменении как природных (климатических), так и антропогенных (загрязнения атмосферы промышленными выбросами) факторов. Изучение влияния этих факторов на растительность актуально прежде всего при ожидаемом потеплении климата. В настоящее время единственной моделью климатических изменений на потепление или похолодание являются географические культуры, в которых представлены потомства популяций севернее и южнее места выращивания [6].

Чтобы проследить взаимодействия наследственных факторов водного обмена растений с факторами внешней среды, интересно изучить особенности водообмена ели, растущей в естественной популяции пригородных лесов Архангельска при разном уровне аэротехногенной нагрузки, и ели из разных популяций в географических культурах Архангельской области, но растущей в одних условиях. Это позволяет выявить генетическую закрепленность и модификационную изменчивость показателей водного обмена ели.

Объектами исследования служили пять климатипов ели (*Picea abies* × *P. obovata* Ledeb.), произрастающие в опытных культурах в Плесецком лесхозе Архангельской области. В естественных условиях были заложены две пробные площади в ельниках-черничниках свежих, расположенных на



удалении 6,5 км (зона загрязнения) и 26 км (зона относительного контроля) от Архангельского ЦБК.

Пробы отбирали с 20 деревьев в каждом варианте. Общее содержание воды определяли термовесовым способом, высушивая хвою до постоянной массы при 105 °С, и выражали в процентах от массы сырой хвои. Реальный водный дефицит (РВД) устанавливали в естественных насаждениях как разность между наибольшим содержанием воды в изолированной от побега хвое в состоянии насыщения и реальным содержанием воды в хвое в момент определения. РВД выражали в процентах от содержания воды в растениях после насыщения [2]. Водоудерживающую способность характеризовали по скорости водоотдачи изолированной хвои. Для этого собранные побеги предварительно погружали в воду на 24 ч для донасыщения водой. Затем у изолированной от побегов хвои определяли потерю воды с интервалом 2 ... 6 ч до тех пор, пока воздушно-сухая масса хвои не оставалась постоянной. Серу в хвое находили спектрофотометрически, переводя ее в сульфатную форму и осаждая хлористым барием [9].

Исследования показали, что уровень оводненности хвои ели зависит от возраста дерева и хвои. В естественных условиях произрастания в первой декаде июня в хвое ели текущего года формирования содержалось максимальное количество воды (84 ... 87 %), в то время как в однолетней 51 ... 52 %. В среднем на начальном этапе развития в хвое текущего года воды было на 33 % больше, чем в прошлогодней. К концу сезона вегетации различия еще сохраняются, но не превышают 2 ... 3 % (табл. 1).

Выбросы предприятий Архангельского промышленного узла воздействуют на пригородные леса и приводят к увеличению содержания серы в хвое ели, растущей в непосредственной близости к источникам эмиссий. Однако повышение уровня аэротехногенной нагрузки не отразилось на оводненности хвои ели как текущего года, так и однолетней. РВД варьировал от 4,6 до 6,6 % и также не зависел от степени аэротехногенного воздействия. Стабильность этих показателей водообмена под влиянием загрязнения атмосферы может свидетельствовать, с одной стороны, о том, что изученные нами характеристики водного режима обусловлены генетически и в

Таблица 1

**Показатели водного режима хвои и содержание серы в хвое ели, произрастающей на различном удалении от источников атмосферных выбросов**

Расстояние от источника выбросов, км	Возраст хвои	Содержание серы, % от абс. сухой массы	Реальный водный дефицит, %	Оводненность, %	$t_{50}$ , ч
6,5	Текущего года	0,144	5,4	60,2	22,5
	Однолетняя	0,111	6,3	57,8	35,1
26	Текущего года	0,099	6,6	60,5	33,9
	Однолетняя	0,100	4,6	57,1	38,5

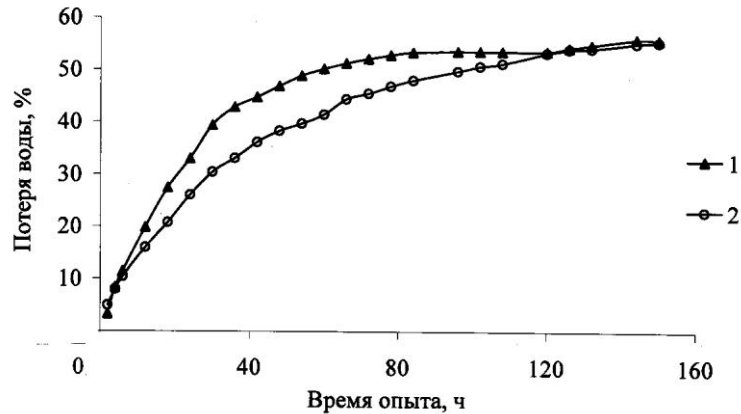


Рис. 1. Скорость потери воды изолированной хвоей ели при различном уровне аэротехногенной нагрузки: 1 – 6,5; 2 – 26 км от АЦБК

пределах популяции ели достоверно не различаются, с другой – о том, что при данном уровне аэротехногенного воздействия растения обладают достаточными адаптационными возможностями, чтобы поддерживать насыщенность тканей хвои водой на необходимом уровне.

В то же время атмосферное загрязнение привело к увеличению скорости водоотдачи и снижению водоудерживающей способности хвои ели (рис. 1). Время, при котором наступают необратимые нарушения водного обмена (критерий  $t_{50}$ ), у хвои деревьев, растущих вблизи источников выбросов, было меньше, чем на контрольных участках (табл. 1). В большей степени влияние промышленных эмиссий сказалось на хвое текущего года формирования по сравнению с однолетней. Так, показатель  $t_{50}$  у хвои текущего года у ели, растущей в непосредственной близости от АЦБК, был на 34 % ниже, чем в зоне относительного контроля.

У ели разного географического происхождения содержание воды в однолетней хвое к концу сезона вегетации колебалось в довольно широком диапазоне (51 ... 62 %), что говорит об определенной приспособительной реакции, выработанной популяциями при формировании в конкретных климатических условиях (табл. 2). Большею оводненностью отличались

Таблица 2

**Показатели водного режима хвои у деревьев ели разного географического происхождения**

Область, республика	Происхождение культур		Оводненность, %	$t_{50}$ , ч	
	Лесхоз	Географические координаты			
		Северная широта			Восточная долгота
Мурманская	Мончегорский	67°51'	32°57'	53,9	44,7
Коми	Корткеросский	61°41'	51°31'	58,9	18,9
Архангельская	Плесецкий	62°59'	40°24'	57,5	21,3
Псковская	Великолукский	56°23'	30°30'	51,0	18,5
Московская	Солнечногорский	56°10'	36°58'	61,7	28,4

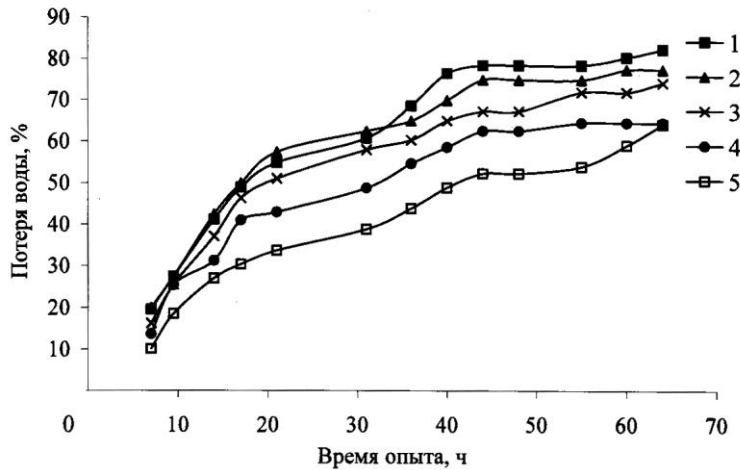


Рис. 2. Скорость потери воды изолированной хвои ели разного географического происхождения (область, республика): 1 – Псковская; 2 – Коми; 3 – Архангельская; 4 – Московская; 5 – Мурманская

среднетаежные климатипы происхождения из Плесецкого лесхоза Архангельской области и Корткеросского лесхоза Республики Коми. У северотаежного климатипа из Мурманской области воды в хвое было меньше. Ее максимальное содержание отмечено у популяции ели из южной подзоны смешанных лесов. Уровень оводненности хвои культур ели из Плесецкого района (местной популяции) был близок к естественным популяциям пригородных лесов г. Архангельска. Разный характер оводненности хвои обуславливает выносливость климатипов по отношению к таким повреждающим факторам, как низкие температуры или недостаток влаги в почве. Северные виды, имеющие высокий процент сухого вещества, более устойчивы к холоду. Повышенная влажность хвои у южных видов снижает их устойчивость к холоду и предохраняет от засухи [8].

Наименьшая скорость потери воды отмечалась у потомства ели из северной подзоны тайги, сформировавшегося в суровых условиях Севера с резким перепадом влажности воздуха (рис. 2). У ели из средней и южной подзон скорость дегидратации при завядании хвои выше. Южные потомства ели (из зоны смешанных лесов) при произрастании в более суровых условиях средней подзоны тайги снижают до установленного предела время обезвоживания ( $t_{50}$ ) более интенсивно, чем северные (табл. 2). Наиболее значительно сокращается время обезвоживания у ели восточного происхождения, генотип которой сформировался в условиях резкоконтинентального климата. Подобный характер содержания воды в свежей хвое сосны различного происхождения наблюдал И.И. Сизов [10] в географических культурах Мурманской области.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что оводненность хвои ели является наследуемым признаком, зависящим от условий формирования популяций. Этот признак носит адаптивный характер и сохраняет стабильность в пределах популяции при воздействии данного уровня аэротехногенного загрязнения. Содержание воды в хвое ели варьирует в зависимости от происхождения популяций, генотип которых сформировался в разных климатических условиях.

Водоудерживающая способность хвои ели в большой степени зависит от факторов внешней среды. Наиболее информативным показателем, отражающим скорость водоотдачи хвои и достижения порогового уровня обезвоживания, является критерий  $t_{50}$ , который более отзывчив к изменению условий среды. Его можно использовать для оценки реакции ели на техногенные и климатические изменения при адаптационных исследованиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевко, Л.Н.* Водный режим луговых растений в связи с условиями среды [Текст] / Л.Н. Алексеевко. – Л.: ЛГУ, 1976. – 200 с.
2. *Бобровская, Н.И.* О водном балансе древесных и кустарниковых видов песчаной пустыни Каракумы [Текст] / Н.И. Бобровская // Ботан. журн. – 1971. – Т. 56, № 3. – С. 361–368.
3. *Горышина, Т.К.* Водный дефицит в листьях травянистых дубравных растений разных сезонных групп [Текст] / Т.К. Горышина, Л.И. Самсонова // Ботан. журн. – 1966. – Т. 51, № 5. – С. 670–677.
4. *Гусев, Н.А.* Исследования водоудерживающей способности клеток листьев в связи с действием засухи [Текст] / Н.А. Гусев, Т.М. Белькович // Физиологические механизмы адаптивных реакций растений. – Казань: КГУ, 1987. – С. 3–56.
5. *Котов, М.М.* Интеграция генетических систем и структура популяций сосны обыкновенной [Текст] / М.М. Котов // Лесоведение. – 1996. – № 5. – С. 19–26.
6. *Наквасина, Е.Н.* Географические культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как природная модель имитации климатических изменений [Текст] / Е.Н. Наквасина // Вестн. Помор. ун-та. – 2003. – № 2 (4). – С. 48–54.
7. *Новицкая, Ю.Е.* Физиолого-биохимические основы роста и адаптации сосны на Севере [Текст] / Ю.Е. Новицкая [и др.]. – Л.: Наука, 1985. – 156 с.
8. *Райт, Д.* Введение в лесную генетику [Текст] / Д. Райт. – М.: Лесн. промышленность, 1978. – 465 с.
9. *Ринькис, Г.Я.* Методы анализа почв и растений [Текст] / Г.Я. Ринькис, Х.К. Рамане, Т.А. Куницкая. – Рига: Зинатне, 1987. – 196 с.
10. *Сизов, И.И.* Об оводненности хвои сосны различного географического происхождения [Текст] / И.И. Сизов // Материалы отчет. сессии по итогам науч.-исслед. работ за 1986 г. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1987. – С. 44–45.

Институт экологических  
проблем Севера УрО РАН

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 20.05.05

---

*N.A. Prozherina, O.A. Gvozdukhina, E.N. Nakvasina*

**Water Metabolism Parameters of Spruce (*Picea abies* × *P. obovata* Ledeb.) as Adaptation Criteria in Changing Environment**

The adaptation potential of water metabolism for spruce needles under the air pollution and climate stress is studied. Water content in the needles is shown to be a heritable parameter depending on the conditions of spruce populations' formation. The criterion  $t_{50}$  characterizing the water-retaining capacity is the most informative parameter sensitive to the changing environment.

---

УДК 630\*232.411.1

**А.В. Жигунов, С.В. Шевчук**

Жигунов Анатолий Васильевич родился в 1950 г., окончил в 1972 г. С.-Петербургский государственный университет, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора С.-Петербургского НИИ лесного хозяйства. Имеет более 100 печатных работ в области лесных культур, лесоведения, лесоводства.



Шевчук Сергей Валерьевич родился в 1962 г., окончил в 1984 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, научный сотрудник С.-Петербургского НИИ лесного хозяйства. Имеет 9 печатных работ в области лесных культур.



**ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ СОСНЫ И ЕЛИ  
ИЗ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА, ВЫРАЩЕННОГО  
КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ**

Рекомендовано использовать посадочный материал сосны и ели, выращенный комбинированным методом в тех же лесорастительных условиях, что и саженцы с открытой корневой системой, полученные по традиционным технологиям. Для сосны пригодна любая из предложенных нами ротационных схем выращивания контейнеризированных сеянцев, для ели – только сеянцы 1-й ротации. При комбинированном методе можно использовать контейнеризированные сеянцы с объемом корнезакрывающего кома 60 см<sup>3</sup>.

*Ключевые слова:* контейнеризированный сеянец, ротация, комбинированная схема выращивания.

Поиски новых способов производства крупномерного посадочного материала привели в 1990-х гг. к появлению в России комбинированного метода [1, 5, 6]. Еще раньше этот метод появился в США [7]. Сущность его заключается в использовании для закладки школьного отделения питомника контейнеризированных сеянцев с малым объемом (30 ... 150 см<sup>3</sup>) корнезакрывающего кома. Это решало многие технологические проблемы, связанные со сроками закладки школы и сокращением периода выращивания.

Цели и задачи опытных работ во многом сводились к выявлению зависимости сроков выращивания стандартного посадочного материала от объема корнезакрывающего кома и схемы выращивания сеянцев. Все работы выполняли в тепличном комплексе ОЛ «Сиверский лес» Ленинградской области. Использовали два объема контейнеров (60 и 142 см<sup>3</sup>) и три режима выращивания сеянцев. Первый режим предусматривал посев 20 апреля и

выращивание в течение всего сезона в теплице (1т). При втором режиме посев производили 20 апреля, сеянцы выращивали в теплице до 20 июня, затем доращивали на открытом полигоне до конца вегетационного периода (первая ротация (1рот)). При третьем режиме посев осуществляли 20 июня, сеянцы выращивали в теплице до конца вегетационного периода, после чего доращивали в течение двух месяцев следующего вегетационного периода на открытом полигоне (вторая ротация (2рот)). Посадку в школьное отделение сеянцев, выращенных в режиме 2рот, производили с 20 июня следующего года, все остальные варианты высаживали в первой декаде мая. Сроки выращивания в школьном отделении 2-3 года.

Культуры закладывали в ОЛ «Сиверский лес» Гатчинского района Ленинградской области. Для опытных культур подбирали участки в различных лесорастительных условиях. Контролем служили саженцы с открытой корневой системой (ОКС), выращенные традиционным путем при использовании сеянцев с открытой корневой системой [4], и двухлетние контейнеризированные сеянцы с объемом корнезащитного кома 400 см<sup>3</sup> [2].

В черничнике свежем на модергумусных слабоподзолистых суглинистых почвах (квартал 96 Орлинского лесничества ОЛ «Сиверский лес») посадка произведена под меч Колесова в плужные пласты, подготовленные двухотвальным плугом ПКН-0,6 после узкополосной корчевки пней осенью 1993 г., расстояние между центрами борозд 7,2 м, шаг посадки 0,7 ... 0,9 м, густота культур 3,5 тыс. экз./га. На рост культур ели практически не оказал влияния объем корнезащитного кома сеянцев 60 и 142 см<sup>3</sup>, используемых для закладки школы (табл. 1).

В результате исследования корневых систем посадочного материала, выращенного комбинированным методом, выявлено высокое значение отношения массы тонких корней к массе надземной части по сравнению с показателем для традиционных саженцев с ОКС [3]. Предполагалось, что при посадке в культуры это сыграет положительную роль в увеличении приживаемости и обеспечит лучший рост хотя бы в первые годы. В нашем случае этого не произошло. В пределах одной схемы выращивания посадочного материала ели (1т + 2) на момент посадки вариант с объемом ячейки контейнера 60 см<sup>3</sup> имел превышение по показателю  $D^2H$  в 5 раз по сравнению с контролем (25,5 против 5,4). В пятилетних культурах разница хотя и сохранилась, но уменьшилась до 23 % (140 против 114). Вероятно, это является следствием посадки в оптимальные агротехнические сроки по плужным пластам, что несколько нивелирует различия в качестве посадочного материала. Так, сохранность в контроле и опытном варианте приближается к 100 %. Кроме того, долгое время не проявлялась конкуренция со стороны травянистой растительности.

Показатели прироста культур сосны по годам на этом участке очень близки, со временем различие должно еще больше сгладиться. На момент высадки в культуры саженцы сосны представленных вариантов по показателю  $D^2H$  отличались на 240 % (21,9 в варианте 1рот + 2 против 9,1 в варианте 2рот + 2). У пятилетних культур эта разница значительно уменьшилась и

Таблица 1

## Сохранность и рост 5-летних культур, заложенных саженцами с обработкой почвы

Порода	Посадочный материал				Культура							
	Схема выращивания	Объем кома, см <sup>3</sup>	Высота, см	Диаметр, мм	Сохранность, %	Высота, см	Диаметр, мм	Прирост по годам, см				
								1	2	3	4	5
Черничные лесорастительные условия												
Ель	1т+2	60	33,7	8,7	100	68,4±2,2	14,3±0,6	7,2	5,4	10,8	9,9	9,4
		142	35,0	8,3	100	74,1±3,2	14,7±0,4	6,8	5,8	11,2	11,0	11,1
	ОКС (контроль)	21,3	5,0	99	64,5±2,3	13,3±2,3	6,7	6,6	10,3	13,3	10,0	
Сосна	1рот	60	31,1	8,4	90	117,3±3,8	27,0±0,8	37,8	9,9	19,3	24,3	31,3
	2рот	60	21,0	6,6	92	101,5±3,9	23,0±0,9	9,2	11,8	17,5	20,8	29,5
Бруснично-черничные лесорастительные условия												
Ель	1т+3	ОКС (контроль)	24,5	5,6	99	93,2±5,2	22,3±1,0	6,4	11,2	16,8	17,5	14,4
		60	40,5	9,6	100	101,3±5,3	20,7±0,9	5,6	5,6	12,7	18,8	19,2
	1рот+3	60	33,3	9,6	99	113,0±5,6	22,9±0,9	6,4	9,1	19,2	26,5	21,1
	2рот+3	60	30,0	6,4	100	79,3±3,0	18,6±0,6	5,3	9,8	13,2	11,1	9,4
	1т+1оп	400 (контроль)	35,1	4,9	99	90,6±3,9	19,3±0,7	3,7	8,8	11,9	14,1	13,0





составляет всего 60 % (855 против 537). Таким образом, для сосны вторая ротация выращивания сеянцев так же перспективна при закладке культур в данных лесорастительных условиях, как и первая, тем более что сохранность в обоих вариантах практически одинакова и достаточно высока.

В бруснично-черничных лесорастительных условиях в квартале 88 Орлинского лесничества ОЛ «Сиверский лес» культуры ели закладывали посадочным материалом с различной схемой выращивания сеянцев по плужным пластам плуга ПЛО-400 после узкополосной корчевки пней. Посадка проведена на свежей вырубке в первой декаде августа 1995 г. под меч Колесова, шаг посадки 0,9 ... 1,0 м, густота 3,5 тыс. шт./га. Почвы на участке грубогумусные среднеподзолистые супесчаные на двучленных наносах.

Судя по приростам последних лет, значениям высоты и диаметра, в варианте 1рот + 3 ель растет не хуже, чем в контроле (табл. 1). При сравнении контроля (саженцы с ОКС) и варианта 1т + 3 комбинированного метода отмечено некоторое преимущество первого. Так, показатель  $D^2H$  немного (на 6 %) больше у пятилетних культур, соответствующих контролю (434 в опытном варианте против 463 в контроле). Следовательно, лучшая обеспеченность тонкими корнями не отразилась положительно на биометрических показателях опытного варианта. Хуже всех оказался вариант 2рот + 3, в котором ель уступает в росте всем контрольным, включая посадочный материал с закрытой корневой системой. Сохранность во всех вариантах не опускалась ниже 99 %. На основании анализа результатов роста культур следует отказаться от использования сеянцев ели, выращенных в режиме второй ротации, для получения посадочного материала комбинированным методом.

Поскольку обработка почвы значительно снижает конкуренцию со стороны травянистой растительности, представляет интерес проверка посадочного материала на участках целины. Культуры ели были заложены осенью 1998 г. в квартале 48 Орлинского лесничества ОЛ «Сиверский лес» в кисличном типе условий местопроизрастания. Почва модермульгумусная слабоподзолистая суглинистая свежая на двучленных наносах. Посадка произведена под меч Колесова, расстояние между рядами 3 м, шаг посадки 0,9 м, густота культур около 3,5 тыс. шт./га.

Лесорастительные условия участка отличаются сравнительно высоким плодородием, I класс бонитета по лесоводственно-ботаническому описанию существовавшего здесь лесного массива. О плодородии почвы на момент посадки свидетельствовало и обилие широколиственных трав. Так как посадку лесных культур осуществляли сразу после рубки древостоя, зарастания сорной растительностью еще не произошло и химических методов борьбы с ней не применяли. Все это в комплексе предопределило довольно жесткие условия проведения опыта, так как растениям предстояло в будущем испытать сильную конкуренцию со стороны сорной растительности.

По показателям высоты и диаметра все опытные варианты уступают контрольному, соответствующему схеме выращивания 1т + 3, но превосходят контроль, представленный сеянцами с закрытой корневой системой (табл. 2). Судя по приросту последнего года, наблюдается сглаживание раз-

личий между контрольным вариантом 1т + 3 и опытными 1т + 3 и 1рот + 3. Вариант 2рот + 3 значительно отстает от двух других и, кроме того, имеет худшие показатели сохранности. Несмотря на наличие относительно большей массы тонких корней в опытном варианте (комбинированный метод) и в условиях сильной конкуренции со стороны травянистой растительности, нет преимуществ в росте по сравнению с контролем (открытые корни) в пределах одной и той же схемы выращивания 1т + 3. Это, по-видимому, есть следствие остаточной деформации корневой системы, обусловленной выращиванием в ограниченном объеме ячейки контейнера. Влияние объема корнезакрывающего кома сеянцев на рост в культурах посадочного материала, выращенного комбинированным методом, в пределах одной схемы выращивания не выявлено. Это говорит о возможности использования наименьшего объема ячейки контейнеров 60 см<sup>3</sup>, что позволит значительно увеличить густоту выращивания сеянцев.

Культуры сосны были заложены также осенью 1998 г. в квартале 28 Дружносельского лесничества ОЛ «Сиверский лес», в долгомошно-черничных условиях местопроизрастания. Почвы на участке торфяно-грубогумусные среднеподзолистые суглинистые свежие на двучленных наносах. Расстояние между рядами 4 м, шаг посадки 0,9 ... 1,0 м, густота культур 2,8 тыс. шт./га. Заращения древесной сорной растительностью на момент посадки культур не произошло. Превентивной химической обработки не производили. Следовательно, и на этом участке культуры должны были испытать конкуренцию со стороны сорной растительности. Это также увеличивало ценность результатов опыта.

Через пять лет после посадки практически во всех вариантах наблюдалось сглаживание различий биометрических показателей. Приросты по высоте за последние два года различаются мало (табл. 2). Меньшая сохранность культур в вариантах с большим объемом корнезакрывающего кома сеянцев вполне объяснима. Скорее всего, при посадке эти саженцы были слишком высокими. Для успешной адаптации на новом месте вполне достаточно параметров посадочного материала, выращенного комбинированным методом с использованием сеянцев из контейнеров 60 см<sup>3</sup>. Судя по динамике приростов и сохранности, относительно большая масса тонких корней у посадочного материала опытных вариантов и в данном случае не оказывает заметного положительного влияния на рост по сравнению с контролем.

Культуры сосны в отличие от ели в варианте 2рот + 3 не уступают посадочному материалу, выращенному по другим схемам, что свидетельствует о возможности использования любой из них для выращивания саженцев комбинированным методом.

Таким образом, на основании полученных данных можно рекомендовать при создании лесных культур использовать посадочный материал, выращенный комбинированным методом в тех же лесорастительных условиях, что и саженцы с ОКС, полученные по традиционным технологиям.

Таблица 2

## Сохранность и рост 5-летних культур, заложенных саженцами по целине

Порода	Посадочный материал				Культура								
	Схема выращи- вания	Объем кома, см <sup>3</sup>	Высота, см	Диаметр, мм	Сохран- ность, %	Высота, см	Диаметр, мм	Прирост по годам, см					
								1	2	3	4	5	
Кисличные лесорастительные условия													
Ель	1т+3	ОКС (контроль)	41,7	10,4	67	95,8±3,7	16,7±0,7	13,8	4,2	13,0	18,2	16,4	
		60	38,9	9,0	69	81,6±4,1	14,0±0,7	10,3	6,6	10,6	14,9	14,1	
		142	44,5	11,0	76	85,9±3,0	16,5±0,7	10,9	7,6	10,6	14,7	14,4	
	1рот+3	60	30,9	7,4	60	77,9±5,4	13,7±1,0	10,0	7,4	11,8	15,0	14,1	
		142	36,9	9,8	43	77,3±5,4	14,6±1,1	12,0	6,0	7,3	12,4	12,5	
	2рот+3	60	33,5	7,4	38	68,9±2,6	12,7±0,5	7,8	6,7	10,3	11,7	10,4	
		142	37,0	8,5	37	66,6±6,9	13,9±1,1	7,9	6,1	10,0	13,0	11,3	
	2т	400 (контроль)	29,2	3,6	65	59,1±2,8	10,0±0,6	10,0	5,4	5,8	9,0	8,9	
	Долгомошно-черничные лесорастительные условия												
	Сосна	1т+3	ОКС (контроль)	50,5	13,8	90	222,2±5,2	40,0±1,3	10,6	33,9	38,9	45,9	53,6
60			40,7	12,7	94	218,4±5,5	39,0±1,4	11,8	31,7	37,5	45,3	55,9	
142			57,5	14,2	83	214,6±7,4	41,0±1,6	11,5	28,4	36,1	38,2	49,9	
1рот+3		60	46,0	13,2	83	195,2±6,7	35,0±1,6	10,6	28,6	33,3	40,0	49,4	
		142	58,0	16,8	82	207,1±6,6	34,2±1,5	12,4	25,4	35,1	41,9	50,3	
2рот+3		60	51,8	12,4	96	213,0±6,1	41,3±1,4	13,2	27,4	33,3	44,1	55,6	
		142	71,2	15,6	88	259,2±6,1	49,8±1,5	16,4	30,2	38,8	49,8	59,7	



При этом и для сосны, и для ели вполне достаточен объем ячейки контейнера 60 см<sup>3</sup>. При выращивании саженцев ели следует избегать использования сеянцев варианта второй ротации. Для сосны схема выращивания сеянцев сосны может быть любой из предложенных нами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жигунов, А.В.* Производство контейнеризированных сеянцев [Текст] / А.В. Жигунов [и др.]. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1990. – 31 с.
2. *Жигунов, А.В.* Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой [Текст] / А.В. Жигунов. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2000. – 293 с.
3. Разработать рекомендации по выращиванию крупномерного посадочного материала с выходом на промышленную технологию его производства в теплично-питомнических комплексах [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / СПбНИИЛХ; рук. А. В. Жигунов. – СПб., 1995. – 221 с. – № ГР 01960001664. – Инв. № 02960001171.
4. Технология выращивания посадочного материала в лесных питомниках таежной зоны [Текст]: практ. рекомендации для районов европейской части РСФСР / А. П. Яковлев [и др.]; ЛенНИИЛХ. – Л., 1980. – 32 с.
5. *Шевчук, С.В.* Использование контейнеризированного грунта [Текст] / С.В. Шевчук // Технология создания и экологические аспекты выращивания высокопродуктивных лесных культур. – СПб.: ЛенНИИЛХ, 1992. – С. 34–37.
6. *Шевчук, С.В.* Применение комбинированного метода выращивания крупномерного посадочного материала [Текст] / С.В. Шевчук // Лесн. хоз-во. – 2002. – № 5. – С. 30–31.
7. *Hahn, P.F.* Plug+1 seedling production [Text] / P.F. Hahn // Forest nursery manual: production of bareroot seedlings. – Corvallis: Forest research laboratory, Oregon State University. – 1984. – P. 165–202.

СПбНИИЛХ

Поступила 12.05.04

*A.V. Zhigunov, S.V. Shevchuk*

#### **Forest Cultures of Pine and Spruce from Planting Material Grown by Combined Method**

It is recommended to use pine and spruce planting stock grown by combined method in the same forest-growing conditions as bare-rooted seedlings grown by conventional technologies. Any rotational scheme of growing containerized seedlings offered by us is suitable for pine, whereas only seedlings of the first rotation are suitable for spruce. Containerized seedlings with volume of 60 cm<sup>3</sup> balled roots can be used in the combined method.

УДК 534-8:630\*5

***В.А. Закамский***

Закамский Владимир Александрович родился в 1954 г., окончил в 1977 г. Марийский политехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Марийского государственного технического университета. Имеет 83 печатные работы в области изучения лесных ресурсов и лесопользования, закономерностей роста и продуктивности рекреационных лесов Среднего Поволжья.



**УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА СТВОЛОВ ДЕРЕВЬЕВ НА НАЛИЧИЕ ГНИЛЕЙ**

Предложен способ определения внутренней гнили растущего дерева, основанный на принципе ультразвукового тестирования.

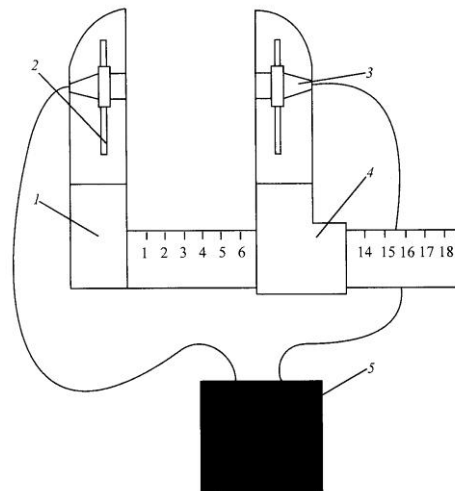
*Ключевые слова:* стволовые гнили, ультразвуковое тестирование

Оценка качества древесины неразрушающими методами контроля на определение гнилей в стволах деревьев имеет актуальное значение в условиях рыночной экономики для сертификации и стандартизации лесной продукции и рационального ведения лесного хозяйства в лесах различного целевого назначения.

В исследованиях по данному направлению существуют некоторые особенности [1, 2, 4, 5]. Например, стволовые и напенные гнили у деревьев на корню устанавливают визуальным осмотром, простукиванием на слух или извлечением кернов [3, 4, 6]. Однако определение наличия гнилей по внешним признакам требует специального штата квалифицированных специалистов фитопатологов (энтомологов).

Цель предлагаемого способа – выявить гнили у растущих деревьев ультразвуковым прозвучиванием, а следовательно, в дальнейшем удалить пораженные деревья при проведении рубок ухода.

Устройство для обнаружения гнили внутри ствола растущего дерева



В основу используемого способа положена известная зависимость распространения ультразвуковых колебаний от плотности материала и его упругих свойств [1]:

$$C = \sqrt{\frac{E}{P}},$$

где  $C$  – скорость ультразвука;

$E$  – модуль упругости;

$P$  – плотность материала.

Цель достигается тем, что при перече́те деревьев используют принцип ультразвукового тестирования ствола растущего дерева в комлевой его части, фиксируя ультразвуковые колебания (УЗК) с помощью специального устройства [6]. Сравнивая значения ультразвуковых колебаний, снятых в различных сечениях ствола, по аномальной величине УЗК выявляют наличие гнили.

Устройство для обнаружения гнили внутри ствола растущего дерева представлено на рисунке. Оно содержит мерную вилку, включающую неподвижную 1 и подвижную 4 продольные ножки, связанные между собой линейкой. На продольных ножках мерной вилки выполнены сквозные продольные отверстия (канавки) 2 с возможностью перемещения по ним датчиков 3 ультразвукового прибора 5.

Подготовка устройства к работе происходит следующим образом. Датчики 3 устанавливают на продольных ножках 1 и 4 мерной вилки так, чтобы их рабочие плоскости располагались на одной линии, с помощью проводников подключают датчики 3 к ультразвуковому прибору 5. Подводят подвижную ножку 4 к неподвижной 1 до образования полного контакта



по всей длине таким образом, чтобы установленные на них датчики 3 соприкасались по всей площади, без видимых просветов. Подключают ультразвуковой прибор к источнику питания. Прибор готов к работе [5].

В биологическом плане работа устройства связана с толщиной ствола. Известно, что при ее увеличении можно установить взаимосвязь между диаметром дерева, плотностью древесины и временем распространения ультразвуковых колебаний [3].

Объектом для изучения послужили деревья ели обыкновенной, липы мелколистной, осины, березы повислой, клена ясенелистного, взятых в насаждениях зеленой зоны пос. Светлого лесного фонда Нолькинского лесничества Учебно-опытного лесхоза МарГТУ. Возраст деревьев 20 ... 40 лет, высота 10 ... 15 м, диаметр стволов для всех пород 11,3 ... 12,3 см, средний 12,1 см; у здоровых деревьев 11,5 ... 13,2 см, средний 12,1 см; у деревьев с наличием гнили 11,3 ... 12,3 см, средний 11,9 см.

До прозвучивания, по визуальным признакам на морфологических частях деревьев (присутствие болезней и вредителей, дефолиация, дехромация и др.), определяли наличие или отсутствие стволовой гнили. Время прохождения импульса ультразвуковых колебаний устанавливали на общепринятой в лесной таксации высоте 1,3 м, используя предлагаемое нами устройство [5]. После прозвучивания деревья спиливали. В месте прозвучивания выпиливали образец в виде цилиндра высотой около 10 см, фиксировали обнаружение или отсутствие гнили. Экспериментальные данные представлены в таблице.

Порода	d, см	t, мкс	d / t	
			см/мкс	%
Образцы растущих деревьев				
Ель обыкновенная	<u>11,5</u>	<u>89,7</u>	<u>0,13</u>	<u>12,8</u>
	11,6	166,1	0,07	7,0
Липа мелколистная	<u>12,1</u>	<u>109,7</u>	<u>0,11</u>	<u>11,0</u>
	11,3	162,5	0,07	7,0
Осина (тополь дрожащий)	<u>13,2</u>	<u>108,5</u>	<u>0,12</u>	<u>12,1</u>
	12,3	174,5	0,07	7,0
Береза повислая	<u>11,9</u>	<u>99,1</u>	<u>0,12</u>	<u>12,0</u>
	12,2	123,0	0,10	9,9
Клен ясенелистный	<u>12,0</u>	<u>133,9</u>	<u>0,09</u>	<u>9,0</u>
	12,2	188,9	0,06	6,4
Образцы после естественного высушивания				
Ель обыкновенная	<u>11,5</u>	<u>74,4</u>	<u>0,15</u>	<u>15,4</u>
	11,6	123,5	0,09	9,3
Липа мелколистная	<u>12,1</u>	<u>77,9</u>	<u>0,15</u>	<u>15,5</u>
	11,3	110,8	0,10	10,1
Осина (тополь дрожащий)	<u>13,2</u>	<u>77,8</u>	<u>0,17</u>	<u>16,9</u>
	12,3	83,9	0,15	14,7
Береза повислая	<u>11,9</u>	<u>72,5</u>	<u>0,16</u>	<u>16,4</u>
	12,2	98,6	0,12	12,4
Клен ясенелистный	<u>12,0</u>	<u>74,9</u>	<u>0,17</u>	<u>17,1</u>
	12,2	80,0	0,16	15,8

Примечание. В числителе показатели для здоровых деревьев, в знаменателе – с наличием гнили.  $d$  – диаметр ствола;  $t$  – время прохождения ультразвукового импульса;  $d/t$  – коэффициент ультразвукового прозвучивания.

Анализ табличных данных позволяет отметить, что у здоровых деревьев во всех случаях время прохождения ультразвуковых импульсов меньше, чем у деревьев с наличием внутренней гнили. Коэффициент прозвучивания как отношение диаметра ствола к времени прохождения ультразвукового импульса, который мы предлагаем использовать, выше у здоровых стволов и меньше у деревьев, в стволах которых имеются гнили. Это указывает на большую плотность древесины здоровых деревьев. Коэффициент прозвучивания, выраженный в процентах, который мы называем относительным, более информативен. Например, для деревьев ели обыкновенной, липы мелколистной, осины с наличием внутри гнили он равен 7,0 %, для деревьев со здоровой древесиной изменяется от 11,0 % у липы мелколистной до 12,8 % у ели обыкновенной.

Таким образом, прохождение ультразвукового импульса через ствол дерева предлагаем оценивать по вводимому нами коэффициенту прозвучивания или относительному коэффициенту прозвучивания, которые дают более наглядную и полную информацию о наличии внутри ствола древесных пород пороков (гнилей).

Через пять месяцев после хранения на складе при естественных погодных условиях взятые образцы ( $H \approx 10$  см) были вновь прозвучены. Экспериментальные данные также представлены в таблице. Как видно, меньшее время прохождения ультразвукового импульса установлено у выпиленных образцов древесных пород диаметром около 12 см со здоровой древесиной для всех исследованных пород.

После естественного высушивания образцов древесины значения величин прозвучивания подтверждают выводы, которые нами были сделаны в предыдущем случае для деревьев, непосредственно произрастающих в лесу.

Коэффициенты ультразвукового прозвучивания  $d/t$  (см/мкс или %) подтверждают выявленные особенности прохождения ультразвуковых импульсов и могут быть использованы для разработки шкалы учета деревьев с наличием внутренней гнили даже на ранней стадии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, И.А.* Качественная оценка лесов [Текст] / И.А. Алексеев // Сб. по обмену производственным и научным опытом. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1980. – Вып.9. – С. 7–12.
2. *Анучин, Н.П.* Лесная таксация [Текст] / Н.П. Анучин. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. – С. 379.
3. *Закамский, В.А.* Приспособление для определения времени распространения УЗК через ствол дерева [Текст] / В.А. Закамский, А.И. Севрюгин // Современные проблемы древесиноведения. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1996. – С. 62–63.

4. Использование кернов древесины в лесоводственных исследованиях [Текст]: метод. рекомендации / под ред. Б.Л. Волкова. – Л.: ПО № 3, Ленуприздат, 1988. – С. 4, 5, 17, 18.

5. Пат. 2203532 Российская Федерация, МКИ<sup>7</sup> А 01 G23/00, G01 N 33/46. Устройство для обнаружения гнилей в стволах деревьев [Текст] / В.А. Закамский, С.В. Закамский; заявитель и патентообладатель Марийск. гос. техн. ун-т. – № 2000107869/13; заявл. 29.03.00; опубл. 10.05.03, Бюл. № 13.

6. *Полубояринов, О.И.* Морфология дерева как раздел биологического древесиноведения [Текст] / О.И. Полубояринов // Современные проблемы древесиноведения. – Йошкар-Ола.: МарГТУ, 1996. – С. 9–10.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 27.04.04

*V.A. Zakamsky*

### **Ultrasound Diagnostics of Rot in Tree Stems**

The method of determining inner rot of growing tree based on the principle of ultrasound testing is proposed.

---

УДК 630\*181.65

**П.А. Феклистов, С.Ю. Бирюков**

Феклистов Павел Александрович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и защиты леса Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 160 печатных работ в области экологии, биологии и лесоведения.



Бирюков Сергей Юрьевич родился в 1965 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, аспирант Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 8 печатных работ в области лесной экологии и лесных культур.



**СЕЗОННЫЙ РОСТ СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ  
В СЕВЕРНОЙ ПОДЗОНЕ ТАЙГИ**

Рассмотрен рост сосны скрученной в Архангельском лесхозе по сравнению с сосной обыкновенной. Отмечено, что ростовые процессы совершаются в целом синхронно, но показатели роста выше у сосны скрученной.

*Ключевые слова:* сосна скрученная, сезонный рост, хвоя, побеги.

Одним из путей повышения продуктивности лесов и повышения их биоразнообразия является введение хозяйственно ценных интродуцентов, главным образом хвойных пород, дающих в короткие сроки ценное древесное сырье. Одним из таких видов является сосна скрученная (*Pinus contorta* var. *latifolia*). Ее активно начали внедрять в 1920-х гг. во многих странах Западной Европы, прежде всего в Финляндии [2] и Швеции [3], а позднее и в нашей стране, в частности в Архангельской области. С момента закладки первых опытных плантаций и получения первых результатов [1] прошло немало времени, однако многие вопросы биологии и экологии этого вида в условиях Севера остаются малоизученными. Важным фактором успешности интродукции сосны скрученной является ее сезонный рост, особенно в сравнении с местными родственными видами.

Мы исследовали ростовые процессы сосны скрученной и аборигенной сосны обыкновенной на участке лесных культур, созданных в 1998 г. посадкой вручную 3-летних сеянцев в Исакогорском лесничестве Архангельского лесхоза. Для изучения сезонного роста побегов отбирали по 30 деревьев каждого вида, которые разбивали на три группы по высоте: до 1 м; 1-2 м; более 2 м. Измеряли длину хвои, терминальных и боковых побе-

гов (в средней части кроны), диаметр через каждые 5 сут от момента набухания почек до заложения зимующих почек и окончания роста. Длину хвои (по 10 хвоинок на терминальных побегах у 15 деревьев сосны скрученной и 15 деревьев сосны обыкновенной) измеряли также через каждые 5 сут после распускания почек.

Рост хвои у обоих видов в 2005 г. начался 25 мая (рис. 1). В мае и первой декаде июня он был очень замедленным, особенно у сосны обыкновенной. Заметный рост хвои начался с 5 по 10 июня. У сосны скрученной он был более энергичным, и максимальные различия наблюдались в конце сезона, после окончания роста. Характерно нарастание разницы в высотных группах деревьев. Для деревьев высотой до 1 м она составила 43, от 1 до 2 м – 42, более 2 м – 39 %. Рост хвои можно считать законченным 30 июля. Далее у сосны обыкновенной длина хвои не изменялась, у сосны скрученной незначительно увеличивалась.

У деревьев до 1 м хвоя короче, чем у более высоких. Это типично для обоих видов сосны. Так, у деревьев сосны обыкновенной до 1 м длина хвои только 35 мм, у более высоких в среднем около 50, у сосны скрученной соответственно 50 и 70 мм. Следовательно, разница в длине хвои составила в среднем около 40 %. Из этого можно заключить, что различия в длине хвои, связанные с высотой деревьев, а также скоростью роста, создают предпосылки для наращивания ассимиляционного аппарата крупных деревьев сосны обыкновенной и скрученной.

Характер роста терминальных побегов обоих видов исключительно синхронен, но абсолютные показатели у сосны скрученной всегда выше (рис. 2). Для деревьев до 1 м это особенно заметно в первые дни, для других высотных групп – в конце роста. В целом показатели роста мелких деревьев значительно меньше, чем у деревьев высотой от 1 до 2 м и более 2 м.

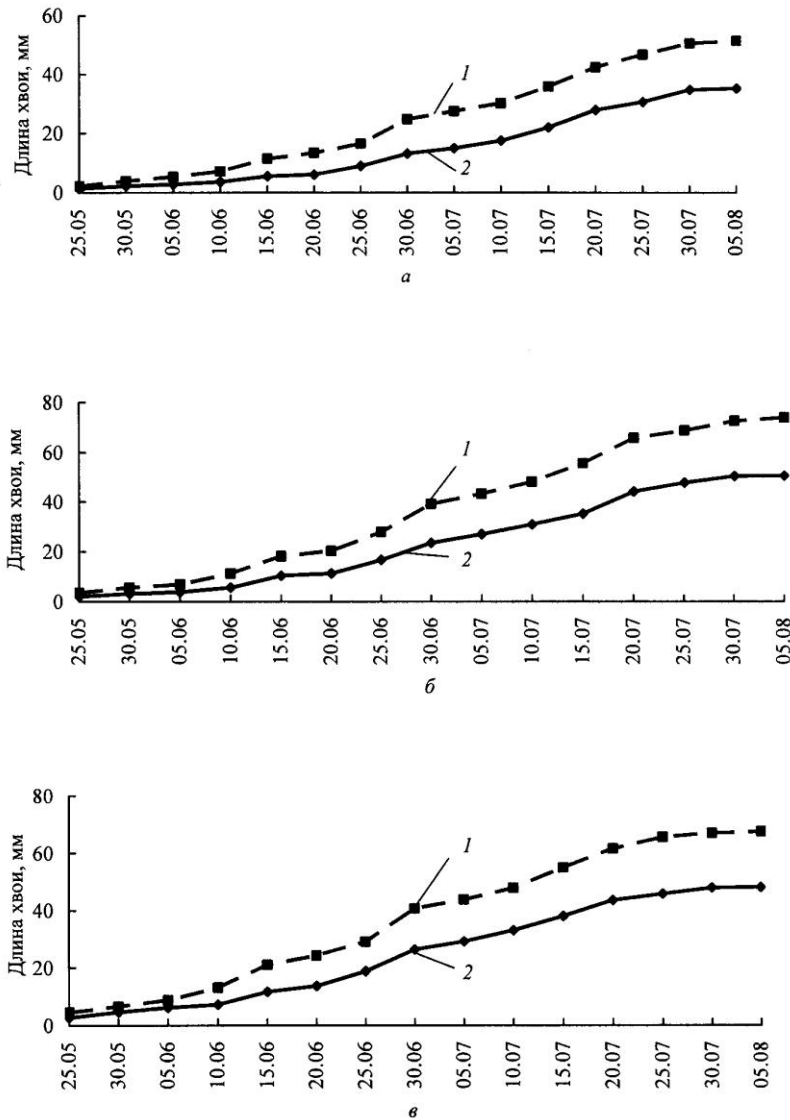


Рис. 1. Сезонный рост хвой на терминальном побеге: а – высота до 1 м; б – от 1 до 2 м; в – более 2 м; 1 – сосна скрученная; 2 – сосна обыкновенная

Рост терминальных побегов обоих видов начался 30 мая, наиболее интенсивным был с 5 по 30 июня. У самых мелких деревьев (до 1 м) дальнейшее увеличение побега наблюдалось до 15 июля. У сосны скрученной (выше 1 м) рост продолжался до 30 июля, у сосны обыкновенной – до 20 июля. Следовательно, продолжительность вегетационного периода большинства деревьев сосны скрученной на 10 дн. дольше, что весьма существенно. Рост терминального побега в течение вегетационного периода

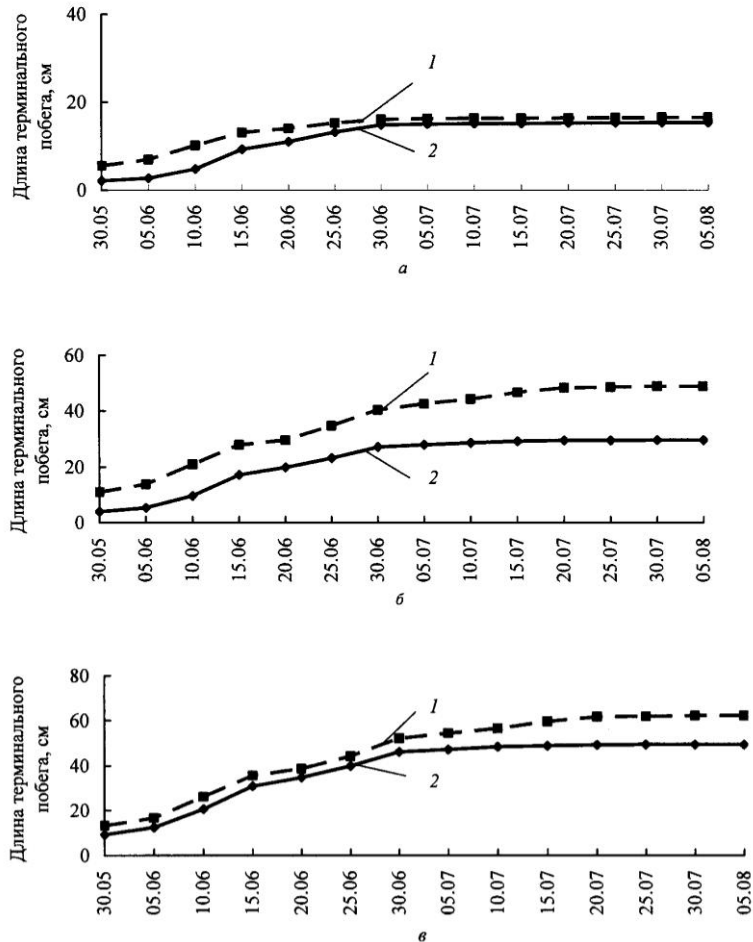


Рис. 2. Сезонный рост терминального побега. Обозначения см. на рис. 1

у обоих видов был синхронным, т. е. они одинаково реагировали на внешние условия, имели максимальный рост в одно и то же время: с 10-15 по 30 июня.

Боковые побеги росли более короткое время, чем терминальные (рис. 3). Все ростовые процессы у обоих видов сосен прекратились к 25 июля, на 5 дн. раньше, чем у терминального побега. У самых мелких деревьев (до 1 м) сосны скрученной рост меньше, чем у сосны обыкновенной. В высотных группах от 1 до 2 и более 2 м интенсивнее растут боковые побеги сосны скрученной, особенно в последней группе.

Прирост по диаметру в течение сезона имел два максимума (рис. 4). Первый пришелся на начало роста – 10 июня, в это время наблюдались наибольший прирост у обоих видов. У сосны скрученной он составил 0,38, у сосны обыкновенной 0,35 мм. В дальнейшем прирост снижался,

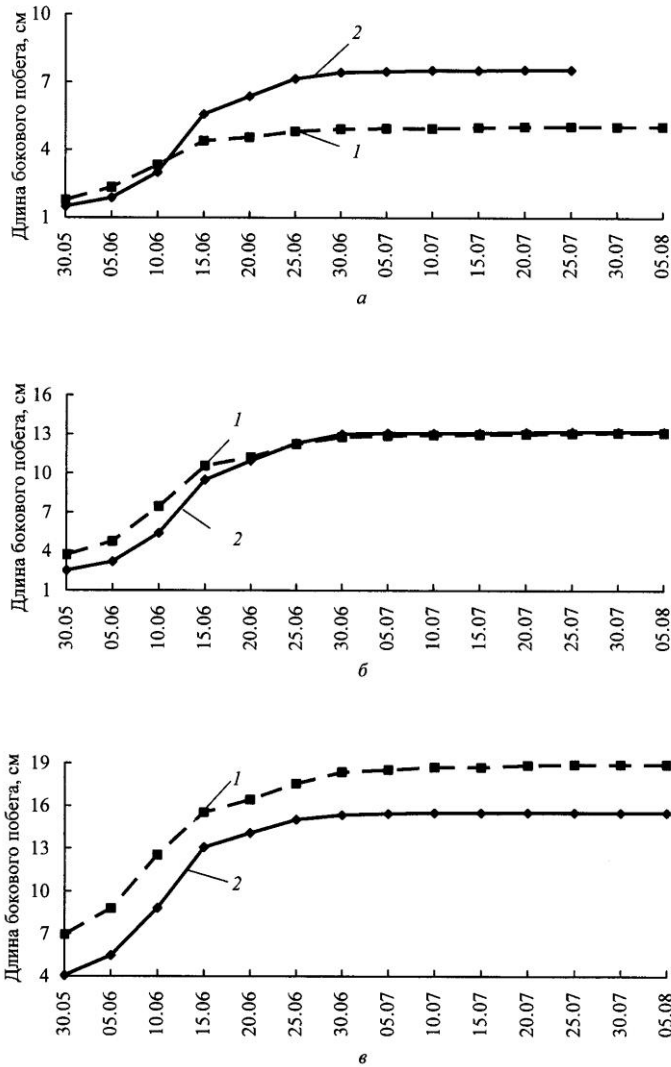


Рис. 3. Сезонный рост бокового побега. Обозначения см. на рис. 1

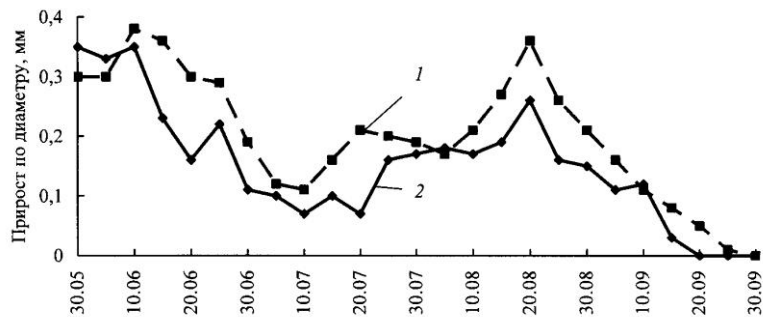


Рис. 4. Сезонный прирост по диаметру сосны скрученной (1) и сосны обыкновенной (2)



минимальным он был в период с 10 по 15 июля, когда наблюдался интенсивный рост в высоту. Затем прирост по диаметру снова увеличивался и достигал максимума синхронно у обоих видов 20 августа, причем у сосны скрученной он был заметно выше, чем у сосны обыкновенной. После этого прирост вновь снижался вплоть до нуля к 25 сентября.

Таким образом, разница в длине хвои между двумя видами по окончании вегетационного периода составила примерно 40 %, продолжительность ее роста у сосны скрученной на 5 дн. дольше. Разница в длине терминального побега между двумя видами также составила 40 %, но продолжительность роста побега у сосны скрученной уже на 10 дн. дольше. Разница в длине боковых побегов незначительна, продолжительность их роста одинакова. Наибольшая скорость роста всех побегов наблюдалась у обоих видов в период с 10 по 30 июня. Рост по диаметру продолжался в среднем 124 дн. Разница в приросте по диаметру в конце сезона составила 75 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нилов, В.Н.* Сосновые в коллекции дендрологического сада АИЛиЛХ. [Текст] / В.Н. Нилов, Б.Л. Стафеев // Материалы отчетной сессии по итогам НИР в XI пятилетке. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1986. – С. 81–82.
2. *Weissenberg, K. von.* Seventy years experience of lodgepole pine in Finland [Text] / K. von. Weissenberg // Proceedings of the JUFRO joint meeting of working parties. – Canada: Vancouver, 1978. – Vol. 2. – 24 p.
3. *Lingren, D.* Survival and early growth of *Pinus contorta* provenances in northern Sweden [Text] / D. Lingren [et al.] // Rapporten och Uppsatser. Research Notes. Institutionen for Scogsgenetik. Department of Forest Genetics. –1976. – N 20. – 42 p.

Архангельский государственный  
технический университет

Институт экологических проблем Севера  
УрО РАН

Поступила 12.09.05

*P.A. Feklistov, S.Yu. Biryukov*

#### **Seasonal Growth of Shore Pine in Northern Taiga Subzone**

Growth of the shore pine in the Arkhangelsk forestry unit is considered in comparison with Scotch pine. It is pointed out that growth processes are realized synchronously on the whole but the shore pine is characterized by higher indices of growth.

УДК 630\*903

**И.В. Шутков**

Шутков Игорь Васильевич родился в 1929 г., окончил Ленинградскую лесотехническую академию, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник СПбНИИ лесного хозяйства, член-корреспондент РАСХН. Имеет 120 работ в области лесопользования, плантационного лесовыращивания, регулирования состава лесных фитоценозов.



### **СИЛА И СЛАБОСТИ КОНЦЕПЦИИ НОВОГО ЛЕСНОГО КОДЕКСА\***

Обсуждены предложения Минэкономразвития РФ по вопросам аренды лесов, собственности на лесные земли. Рассмотрена роль лесничего как хозяина леса.

*Ключевые слова:* аренда лесов, лесные аукционы, собственность на лесные земли, роль лесничего.

Тысячи граждан России сумели разглядеть суть обсуждаемого нового Лесного кодекса (ЛК) и выразили негативное отношение к нему. Однако в Государственной думе проект ЛК поддержало ангажированное большинство депутатов, сумевших провести документ через «порог первого чтения». За ним могут последовать и остальные решения, которые придадут проекту силу закона. Что в этой ситуации остается делать лесоведам? Наши потомки смогут увидеть мощь корабельных боров и настоящую тайгу России только в том случае, если у нас возобладает чувство гражданской ответственности перед страной и ее будущим. Поэтому надо объединить усилия и занять позицию, очерченную в г. Петрозаводске в апреле 2005 г. на совещании лесных специалистов неправительственных организаций. Следует начать работу над проектами двух очень важных для страны законов: «Комплексной лесной программы России», обеспечивающей баланс экономических и экологических интересов всех участников лесных отношений, и логично вытекающего из этой «рамочной» программы проекта Лесного кодекса.

С тем и другим надо спешить, чтобы разработать, опубликовать, обсудить и познакомить с текстами документов людей до очередных выборов в органы власти центра и субъектов РФ. Эти документы, кроме своего основного предназначения, могли бы выполнять роль еще одного из многих индикаторов, позволяющих избирателям правильно оценивать качество партий и кандидатов во власть.

Трудность и сложность предстоящей работы нельзя недооценивать, тем более, что действующее Правительство скорее всего не захочет ее оплачивать. Тем не менее работу надо продолжать по крайней мере до тех пор, пока в нашем парламенте не возобладают депутаты партий, руководствующиеся идеями социальной справедливости и экологической нравственности.

Приходится с горечью говорить, что годы ожидания новых выборов будут потеряны для активной работы по восстановлению лесного хозяйства России. Но потеряем мы не только время. Второпях принимаемый Госдумой

---

\* В порядке обсуждения.

Лесной кодекс и активно начатая Федеральным центром не остро необходимая экономическая реформа лесного хозяйства страны, а высокочрезвычайно административно-управленческая канитель вызовут дальнейший уход из нашей отрасли профессиональных лесоводов. В свою очередь, это не может не привести к увеличению площади и числа лесных пожаров, усилению наводнений из-за дальнейшего развития процесса смены хвойных лесов мелколиственными, продолжению вырубке лесов при отсутствии финансовых гарантий восстановления на их месте новых полноценных древостоев, использованию правил определения допустимых размеров лесоотпуска и иных нормативов, прикрывающих истощительный характер практикуемой эксплуатации лесов вообще и несырьевого назначения особенно. Так, уже теперь достаточно поехать по Карельскому перешейку, чтобы понять, что жители второй столицы России оказались лишенными весьма значительной части лесов на своей основной рекреационной территории.

Сказанное относится к нашему будущему. А сегодня нельзя не откликнуться на статью заместителя руководителя департамента Министерства экономического развития и торговли В.В. Гаврилова в «Российской лесной газете» (№ 15 за апрель 2005 г.), представившей его как главного разработчика рассматриваемого в Госдуме проекта ЛК. В статье «Самое плохое – это лес без хозяина» автор пишет, что лес должен попадать в руки лесопользователей только путем продажи его на открытых соревновательных торгах (аукционах) и что в своем намерении добиться этого его министерство занимает непримиримую позицию. Это намерение нельзя не приветствовать, поскольку в нем заключено первое и главное условие, при котором наше лесное хозяйство сможет достойно войти в систему рыночных отношений, а приобретаемый и заготавливаемый лесопользователями лес обретет, наконец, свою реальную (рыночную) цену.

Напомним, что реализация отведенных в рубку древостоев не путем их распределения чиновниками, а через открытые торги широко практиковалась в казенных лесничествах России в дореволюционные годы и после, уже в период НЭПа. Конечно, не всем работникам управленческого аппарата такой порядок нравился. Тем не менее, в экономическом плане дела тогда шли неплохо не только в лесном хозяйстве, но и в лесной промышленности, о чем убедительно говорят публикации проф. В.В. Фааса (1919), начальника Центрального управления лесами в НКЗ РСФСР А.И. Шульца (1925) и др.

При всей очевидной прагматичности названной идеи нельзя не сказать, что ее нетрудно опорочить, если заранее не оговорить в имеющем силу закона документе следующие условия ее реализации на практике.

1. Что именно можно выставлять для продажи на аукционах? Логичный ответ: конкретные отведенные в рубку участки леса (лесосеки), для которых известны ценностные характеристики. Именно так раньше в России и делали. Более того, участникам аукционов предоставлялась возможность заранее познакомиться с тем, что они хотели бы приобрести в рубку.

К сожалению, можно понять, что в статье г-на Гаврилова речь идет о другом, а именно о продаже на аукционах прав на многолетнюю псевдо-

аренду лесов. Словосочетание «псевдоаренда» здесь использовано потому, что по определениям, приведенным в солидных энциклопедиях и справочниках, в принципе вообще не может быть аренды без отдачи арендодателю взятых у него на время материальных ценностей, которые, к тому же, оказываются обреченными на разрушение уже при заключении сделки. Наш случай именно такой: получил в рубку выращенные древостои с конкретными характеристиками, а вернул нечто другое. Поэтому алогичная суть такой аренды будет иметь место при любых сроках реализации договоров.

Названную смысловую нелепость аренды без отдачи можно, чтобы не выглядеть неграмотным, исправить, если вместо слова «аренда» использовать, например, термин «концессия». Но и в этом случае речь на аукционах должна идти о реализации лесопользователями не юридических прав, а конкретных древостоев, которые в силу многих причин не могут не иметь самых разных рыночных цен. Связи между качеством и местонахождением древостоев, с одной стороны, и их ценами на аукционах – с другой, должны быть совершенно прозрачными. Вне этого условия цивилизованный лесной рынок вообще невозможен. Отсутствие таких связей не позволяет проводить коммерческие расчеты, в том числе по определению эффекта от вложения средств в возобновление лесов, повышение их продуктивности и даже в развитие лесопромышленной инфраструктуры территорий.

2. Брать или не брать залоговые финансовые обязательства с участников аукциона в подтверждение добросовестности заявленных ими намерений? Если обходиться без залоговых обязательств или если их размер будет символическим, аукционы (по причине вероятного сговора между его участниками) могут быстро превратиться в пустую формальность с заранее предопределенным результатом. Поэтому пункт о взимании залоговых финансовых обязательств с участников лесных аукционов непременно должен быть вписан в текст Лесного кодекса.

3. Кто и как будет определять стартовые цены на реализуемый через аукционы лес на корню? Очевидно, в силу былой приверженности к тоталитарной экономике, в настоящее время так называемые минимальные цены на лес на корню определяют без должной их дифференциации и не где-нибудь в лесхозе, а в Москве. Дальнейшее использование этого правила резко уменьшит экономический эффект лесных аукционов. Чтобы такого не случилось, стартовые цены на выставляемый на аукционы лес на корню должны устанавливать специалисты государственного лесоустройства, независимого от лесхозов и лесопромышленников, непосредственно на местах, т. е. так, как это делали в России раньше. Сами же цены следует определять расчетом, методики их известны. Об их работоспособности свидетельствует то, что в казенных лесах России различия в стартовых (расчетных) и продажных ценах на лес на корню обычно не превышали 30 %.

4. Какую часть вырученных на аукционах средств оставлять непосредственно в лесном хозяйстве, чтобы было обеспечено не только его нормальное функционирование, но и развитие? В бывшем Лесном департаменте оставляли 30 %. В наше время размер указанной доли средств не огово-

рен. Это позволило Правительству России как нерасчетливому дельцу быстро свести эту долю к абсолютному нулю. В итоге лесные аукционы приказали долго жить, чиновники продолжили распределение вырубаемых лесов между клиентами, а наши лесхозы, чтобы не умереть с голода, вынуждены снова взяться за топоры. Чтобы впредь не повторилась такая же история, оставляемую в распоряжении лесхозов долю средств от вырученных на лесных аукционах должно определять не Правительство, а Парламент в принимаемом им законе – новом Лесном кодексе страны.

5. Можно ли рассматривать лес в юридических документах отдельно от земли, без которой он вообще не может существовать? Лесоводы обоснованно отвечают отрицательно, В.В. Гаврилов – положительно. Об этом свидетельствуют такие используемые им словосочетания, как «частная собственность на лесные земли», «возможность любой формы собственности на земли лесного фонда», «участок лесной земли ... может находиться во всех формах собственности». Такая позиция не только алогична, но и опасна. В свое время в России находившиеся в частной собственности леса можно было закладывать в банках. Однако банки не хотели принимать такие заклады, поскольку у них возникали дополнительные обязательства по ведению хозяйства в этих лесах. Результатом стало массовое истребление частновладельческих лесов разными способами в виде условия для заклада земли из-под леса в банках. Чтобы не повторилась эта ситуация, в самых авторитетных документах страны должно быть четко сказано, что леса всех видов собственности, не переведенные по закону в категорию нелесных земель, считаются лесами, а не участками «лесной земли», что возлагает на собственников все бремя определенной по закону ответственности за сохранение лесов, их восстановление и ведение лесного хозяйства.

6. Кто может быть эффективным (рачительным) хозяином в лесу? В.В. Гаврилов считает, что это временщик-арендатор и частный собственник. Спросим сначала, почему арендатор? Может быть, г-н Гаврилов сошлется на цитируемый другими авторами пример Канады? Так ведь там не было и нет безвозвратной аренды, а есть более 20 вариантов организации на разных территориях лесных концессий, да еще, в ряде случаев, с возлагаемыми на концессионеров немалыми объемами выполняемых за их счет лесохозяйственных работ (Дж. А. Грей. Канадский опыт организации лесных концессий // Устойчивое лесопользование. – 2004. – № 1. – С. 28–35). А вот настоящая сдача казенных лесов в аренду для ведения комплексной хозяйственной деятельности была испытана именно в России более 150 лет назад в двух губерниях – Калужской и Орловской. Полученные результаты четко показали: сдача лесов в аренду есть наихудший из возможных способов организации и ведения лесного хозяйства (Энциклопедия русского лесного хозяйства. Т. 1. – СПб., 1903. – С. 1193).

Основную надежду как на рачительных хозяев лесов будущей России В.В. Гаврилов возлагает на частных собственников лесов. Чтобы оценить эту мысль, снова воспользуемся историческим опытом. В некоторых частных крупных имениях России лесное хозяйство велось даже лучше, чем

в казенных лесах. Имена этих лесовладельцев и их лесничих до сих пор не забыты. Однако в большинстве помещичьих и крестьянских лесов дела шли иначе. Именно из-за таких «лесных хозяев» (а не по вине государственных лесничих!) Россия потеряла в недавнем прошлом более 2 млн га своих лесов. К сказанному добавим, что в Российской империи практиковался выкуп частновладельческих лесов в казну. И это были не отдельные случаи, а государственная политика. Так, в книге премьер-министра П.А. Столыпина и его ближайшего сотрудника А.В. Кривошеина (Поездка в Сибирь и Поволжье. – СПб., 1911) четко сказано о необходимости сосредоточить в руках казны леса из состава продаваемых банкам имений (цит. по кн. Б.Г. Федорова «Петр Аркадьевич Столыпин» – М., 2003. – С. 281). В наше время существует такая практика в других развитых странах.

Почему В.В. Гаврилов в числе эффективных хозяев леса не упоминает современных лесничих и других работников государственного лесного хозяйства? Что, у них изменился генотип? Они забыли то, чему их учили в вузах и техникумах? Потеряли способность отличать плохое от хорошего? Уверен, что причина в другом, а именно в том, что наше государство в результате своей давней близорукой лесной политики отняло у лесного хозяйства статус производителя и продавца леса на корню как уникального товара нашей отрасли, а у лесничего – почти все, что у него было, в том числе престиж служебного положения, саму востребованность профессии, чувство защищенности со стороны государства как собственника лесов, должное материальное благополучие при легальных и достойных источниках получаемых доходов, служебное оружие и реальное право на его применение для защиты вверенных ему ценностей и своей жизни. Стоит вернуть лесничим все это, и они снова раскроются людям в своем служении обществу и лесу такими, какими их сохранила наша память и сама история.

В России, крупнейшей в мире стране с многообразными природными и социально-экономическими условиями, должны иметь место глубокая дифференциация принимаемых парламентом решений по организации управления и ведению лесного хозяйства в разных регионах страны, обоснование границы между сферами деятельности лесохозяйственных и лесопромышленных структур. Поэтому совершенно необходимо, чтобы в новом Лесном кодексе лесхозы получили статус федеральных предприятий, а не учреждений, работники которых в очередной раз умножат руководящую армию чиновников страны.

СПбНИИЛХ  
Поступила 09.06.05

*I.V. Shutov*

### **Strength and Weakness of NewForest Code Concept**

The proposals of Ministry of Economic Development of RF related to forest rent, ownership of forest areas are discussed. The role of forestry officer as a master of forest is considered.

---



УДК 625.711.84

**В.С. Морозов**

Морозов Владимир Станиславович родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры строительной механики и сопротивления материалов Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных работ в области строительства и эксплуатации зимних лесовозных дорог, механики деформируемого твердого тела.



### **ВЛИЯНИЕ ДЕРЕВЯННОГО НАСТИЛА НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ ЗИМНИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Рассмотрено влияние продольного и поперечного деревянных настилов, устраиваемых в основании зимних автомобильных дорог и повышающих их несущую способность и срок эксплуатации.

*Ключевые слова:* зимние автомобильные дороги, болота, расчетные схемы, расчеты.

При транспортном освоении северных регионов России и Сибири, характеризующихся значительным количеством болот и заболоченных территорий, требуется построить разветвленную сеть автомобильных дорог. Однако прокладка дорог круглогодочного действия обычно экономически не оправдана. Для снижения стоимости строительства особое внимание следует уделить временным дорогам сезонного действия (зимним), к которым относят снежные, снежно-ледяные и ледяные.

Для усиления оснований зимних дорог на средне- и сильнообводненных грунтах по поверхности болот укладывают продольный и поперечный деревянный настилы или хворостяную подушку, отсыпают насыпь из минерального грунта, а в последнее время в основании насыпи укладывают прослойку из геотекстильного синтетического материала. Поперечный и продольный настилы (слани, лежни) широко используют в лесной и болотно-таежной зонах в основании автомобильных [1] и железных [5] дорог.

Цель настоящей работы – установить влияние продольного и поперечного деревянных настилов на несущую способность зимних автомобильных дорог, устраиваемых на переходах через болота и заболоченные участки. Назначение продольного настила состоит в повышении изгибной

жесткости дорожной одежды в продольном направлении, поперечного – в поперечном, увеличение несущей способности поверхности проезжей части и формирование основания насыпи из минерального грунта.

*Влияние продольного настила на несущую способность зимних дорог*

Расчетная схема двухслойной дороги приведена на рис.1, а методика расчета дана в работах [3, 4]. Продольный настил представляет собой два колесопротока толщиной  $H_2$ , суммарной шириной  $B_2$  с модулем упругости  $E_d$ , уложенных на слой мерзлого торфа толщиной  $H_4$  и шириной  $B_4$ .

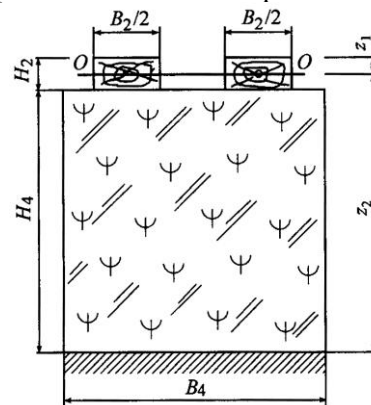


Рис. 1. Схема двухслойной дороги с продольным настилом

При расчете напряженно-деформированного состояния дорожной одежды необходимо знать положение нейтральной плоскости и эквивалентный модуль упругости. Вид расчетных уравнений зависит от того, по какому слою дорожной одежды проходит нейтральная плоскость.

1. Нейтральная плоскость проходит по настилу:

а) положение нейтральной плоскости (безразмерной величины  $v$ ) определяем по формуле

$$v = \sqrt{\frac{3B_2 E_d (v_1 - v)^2 + B_4 E_{20} (1 - v)^3 - (v_1 - v)^2 (3 - v - 2v_1)}{3B_2 E_d}}; \quad (1)$$

б) эквивалентный модуль упругости

$$E_3 = \frac{1}{B} [3B_2 E_d [v^3 + (v_1 - v)^3] + B_4 E_{20} [(1 - v)^4 - (v_1 - v)^3 (4 - v - 3v_1)]]; \quad (2)$$

в) минимальная толщина дорожной одежды (максимум нормальных растягивающих напряжений находится в слое мерзлого торфа):

$$H_{\min} = \left[ \frac{0,075(1 - \mu^2)(1 - v)^2 P E_{20}}{\sigma_{\text{adm}}^p B (0,3C\alpha E_3^3)^{0,25}} \right]^{0,8}. \quad (3)$$

2. Нейтральная плоскость проходит по мерзлому торфу:

а) положение нейтральной плоскости:



$$v = \sqrt{\frac{3B_2E_d(v-v_2)^2 + B_4E_{10}(v-v_2)^2(3-v-2v_2) + B_4(1-v)^3}{3B_2E_d}}; \quad (4)$$

б) эквивалентный модуль упругости:

$$E_3 = \frac{1}{B} [4B_2E_d[v^3 - (v-v_2)^3] + B_4E_{10}[(v-v_2)^3(4-v-3v_2) + B_4E_{20}(1-v)^4]]; \quad (5)$$

в) для определения минимальной толщины дорожной одежды  $H_{\min}$  используют выражение (3).

В формулах (1)–(5) обозначено:

$B$  – эквивалентная ширина проезжей части дороги;

$E_{10}, E_{20}$  – модули упругости мерзлого торфа соответственно на сжатие и растяжение;

$z_1$  – расстояние от верха проезжей части до нейтральной плоскости, которая проходит по деревянному настилу;

$z_2$  – расстояние от нейтральной плоскости до талого торфа;

$H$  – полная толщина дороги;

$H_{\min}$  – минимальная расчетная толщина дорожной одежды;

$\mu$  – коэффициент Пуассона (для мерзлого торфа  $\mu \approx 0,36$ );

$P$  – эквивалентная сила от колес автомобиля на поверхность дороги;

$\sigma_{\text{adm}}^p$  – допускаемое напряжение;

$C$  – коэффициент постели основания дороги (талого торфа);

$\alpha$  – коэффициент поперечного изгиба;

$E_3$  – эквивалентный модуль упругости;

0,075 и 0,3 – коэффициенты, выравнивающие размерности в левой и правой частях уравнения (3);

$$v = z_1/H;$$

$$v_1 = H_1/H;$$

$$v_2 = H_2/H.$$

Результаты расчетов для различных случаев положения нейтральной плоскости приведены в табл. 1. Они получены при следующих исходных данных:  $E_d = 10000$  МПа;  $E_{10} = 460$  МПа;  $E_{20} = 1600$  МПа;  $B_2 = 200$  см;  $B_4 = 700$  см;  $C = 3$  Н/см<sup>3</sup>;  $\mu = 0,36$ ;  $P = 165000$  Н;  $\sigma_{\text{adm}}^p = 1,9$  МПа;  $\alpha = 0,3$ .

По данным табл. 1 отметим три частных случая.

1. Нейтральная плоскость расположена на границе между слоями, т. е.  $z_1 = H_2$  и  $v = v_2$ . По формулам (1) или (4) получаем

$$v = \sqrt{\frac{B_4E_{20}(1-v)^3}{3B_2E_d}} = \sqrt{\frac{700 \cdot 1600(1-v)^2}{3 \cdot 200 \cdot 10000}} = \sqrt{\frac{14(1-v)^2}{75}}.$$

Применяя метод итераций, находим  $v = 0,2697$ .

Далее вычисляем эквивалентный модуль упругости по формулам (2) или (5), которые при  $v_2 = v$  принимают вид

$$E_3 = \frac{1}{B} [4B_2E_d v^3 + B_4E_{20}(1-v)^4],$$

Таблица 1

$\nu_2$	$\nu$	$E_3$ , МПа	$H$ , см	$H_2$ , см	$H_4$ , см	$z_1$ , см	$z_2$ , см
0	0,4620	294,5	18,6	0	18,6	8,57	9,98
0,1	0,3166	650,0	28,3	2,8	25,5	8,94	19,40
0,2	0,2756	677,0	30,3	6,1	23,9	8,34	22,00
0,2667	0,2667	679,3	31,2	8,4	22,8	8,40	22,80
0,3	0,2708	679,5	31,1	9,9	21,2	8,40	22,70
0,4	0,2805	693,6	30,1	12,0	18,0	8,40	22,70
0,6	0,3301	899,2	23,0	13,8	9,2	7,60	15,40
0,8	0,4064	1546,3	13,7	10,9	2,7	5,60	8,10
1,0	0,5000	2857,1	7,20	7,2	0	3,60	3,60

Примечание. В выделенной строке приведены результаты расчета для нейтральной плоскости.

отсюда

$$E_3 = \frac{1}{700} [4 \cdot 200 \cdot 10000 \cdot 0,2697^3 + 700 \cdot 1600 (1 - 0,2697)^4] = 679,3 \text{ МПа.}$$

2. Толщина деревянного настила равна толщине дорожной одежды, т. е. колесопродолы уложены непосредственно на поверхность талого торфа.

Здесь  $H_2 = H$ ;  $\nu_2 = 1$ ;  $H_4 = 0$ . Используя эти условия, находим:

–  $\nu = 0,5$ , т. е. нейтральная плоскость проходит посередине высоты деревянного настила;

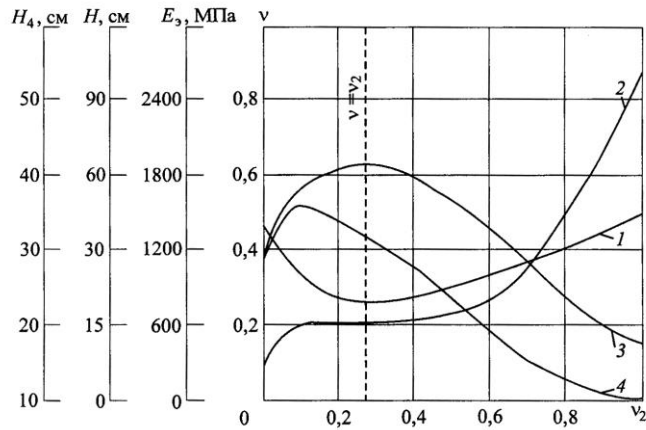
–  $E_3 = 2857,14$  МПа, что меньше модуля упругости для дерева ( $E_d = 10000$  МПа), так как фактическая ширина  $B_2 = 200$  см была приведена к эквивалентной ширине  $B = 700$  см.

3. Дорожная одежда состоит только из слоя мерзлого торфа, т. е.  $H_2 = 0$ . В этом случае имеем:  $\nu = 0,462$ ;  $E_3 = 294,5$  МПа.

Таким образом, расчетные данные, приведенные в табл. 1, охватывают все возможные случаи расположения нейтральной плоскости по толщине дорожной одежды, состоящей из продольного деревянного настила и мерзлого торфа.

Для наглядности построим графики основных расчетных величин при  $\nu_2 = H_2/H$ , т. е. в зависимости от толщины деревянного настила (рис. 2).

Кривая 1 отображает зависимость  $\nu(\nu_2)$ . Она имеет параболический вид с минимумом в точке  $\nu = \nu_2$ , т. е. при расположении нейтральной плоскости между слоями.

Рис. 2. Графики зависимости расчетных величин от  $v_2$ 

Кривая 2 характеризует зависимость  $E_3(v_2)$ . Она состоит из двух участков. В точке  $v = v_2$  находится точка перегиба. По мере увеличения относительной толщины деревянного настила  $v_2$  значение эквивалентного модуля упругости увеличивается.

Кривая 3 отображает зависимость  $H(v_2)$ . Ее максимум при  $v = v_2$  показывает, что при расположении нейтральной плоскости на границе между слоями толщина дорожной одежды максимальна.

Кривая 4 характеризует зависимость толщины замороженного слоя торфа  $H_4$  от относительной толщины деревянного настила  $v_2$ .

На участке изменения  $v_2$  от 0,2667 до 1,0 кривые 3 и 4 подобны. Расстояние между ними равно  $H_2$ . На участке от 0 до 0,2667 такого подобия не наблюдается. Для объяснения этой особенности необходимо дополнительно проанализировать уравнения (2), (3) и (5). Можно, однако, предположить, что на значения  $H$  и  $H_4$  влияет величина поперечного изгиба  $\alpha$ . На данной стадии анализа было предположено, что  $\alpha = \text{const}$ . На самом деле это не так, т. е. требуется выполнить более точный расчет.

Влияние продольного деревянного настила на несущую способность двухслойной дорожной одежды проявляется следующим образом: по мере увеличения толщины слоя деревянного настила ( $H_2$ ) значения толщины дорожной одежды ( $H$ ) и слоя мерзлого торфа ( $H_4$ ) могут как увеличиваться, так и уменьшаться (рис. 3). Приведенные графики в известной

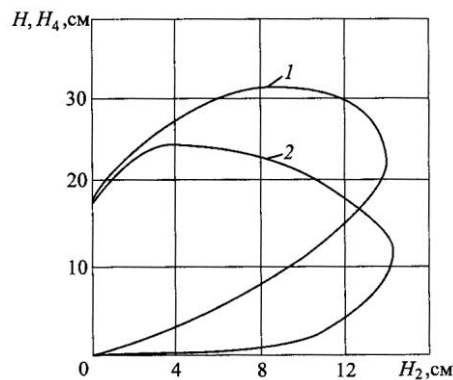
Рис. 3. Графики зависимостей: 1 –  $H(H_2)$ ; 2 –  $H_4(H_2)$

Таблица 2

$H_2$ , см	$H_3$ , см		$H_4$ , см		$H_2$ , см	$H$ , см		$H_4$ , см	
	min	max	min	max		min	max	min	max
0	0	18,0	0	18,0	8	9,0	31,0	1,0	23,5
2	1,5	24,0	0,1	22,5	10	12,0	32,0	2,0	21,5
4	3,5	28,0	1,0	24,5	12	17,0	30,0	4,5	18,5
6	6,0	30,0	1,0	25,0	14	24,0	24,0	11,5	11,5

степени подобны, но не являются монотонными, а представляют собой петли, т. е. при одной и той же  $H_2$  толщины  $H$  и  $H_4$  могут иметь два разных значения, что объясняется сложным характером взаимодействия различных факторов.

По графикам на рис. 3 составим дополнительную таблицу значений  $H$  и  $H_4$  в зависимости от  $H_2$  (табл. 2).

Очевидно, что при одной и той же толщине бревен настила достаточно взять минимальные значения полной толщины дорожной одежды и толщины мерзлого слоя торфа.

Для данных, рассмотренных в примере, расчетная толщина деревянного продольного настила равна 14 см. В этом случае полная толщина дорожной одежды составляет 23 см (в том числе слоя мерзлого торфа – 9 см). При  $H_2 > 14$  см колесопроводы можно укладывать на слой талого торфа и движение возможно при отсутствии слоя мерзлого торфа, т. е. круглогодично.

#### Влияние поперечного настила на несущую способность зимних дорог

Расчетная схема приведена на рис. 4, где показано поперечное сечение двухслойной дорожной одежды. Предполагаем, что нейтральная плоскость проходит в слое мерзлого торфа. Поскольку поперечный настил не сопротивляется продольному изгибу, то можно принять  $E'_d = 0$ , т. е. сопротивление продольному изгибу оказывает только мерзлый торф.

Толщину поперечного деревянного настила обозначим  $H_3$ , слоя мерзлого торфа –  $H_4$ .

Расчетное уравнение для определения положения нейтральной плоскости имеет вид

$$3B_3 E'_d \lambda_3 + B_4 E_{10} \lambda'_4 - B_4 E_{20} \lambda''_4 = 0, \quad (6)$$

где  $\lambda_3 = (v - v_3)^2 - v^2$ ;

$$\lambda'_4 = (v - v_3)^2 (3 - v - 2v_3);$$

$$\lambda''_4 = (1 - v)^3.$$

Подставим выражения для  $\lambda$  в уравнение (6). Учитывая, что  $E'_d = 0$ , получаем

$$B_4 E_{10} (v - v_3)^2 (3 - v - 2v_3) - B_4 E_{20} (1 - v)^3 = 0.$$

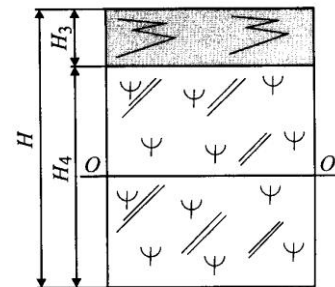


Рис. 4. Расчетная схема

Отсюда

$$v = v_3 + \sqrt{\frac{E_{20}(1-v)^3}{E_{10}(3-v-2v_3)}}. \quad (7)$$

Задавая  $v_3$ ,  $E_{10}$  и  $E_{20}$ , находим значения  $v$  из уравнения (7) по методу простых итераций.

Аналогично запишем уравнение для определения эквивалентного модуля упругости:

$$E_3 = \frac{1}{B} (B_3 E'_d \gamma_3 + B_4 E_{10} \gamma'_4 + B_4 E_{20} \gamma''_4), \quad (8)$$

где  $\gamma_3 = v^3 - (v - v_3)^2$ ;

$\gamma'_4 = (v - v_3)^2 (4 - v - 3v_3)$ ;

$\gamma''_4 = (1 - v)^4$ ;

$v_3 = H_3 / H$ .

Подставим эти выражения в уравнение (8). Полагая  $E'_d = 0$  и выполняя другие преобразования, получаем

$$E_3 = E_{10}(v - v_3)^3 (4 - v - 3v_3) + E_{20}(1 - v)^4. \quad (9)$$

Для определения  $H_{\min}$  используем полученное ранее выражение (3):

$$H_{\min} = \left[ \frac{0,075(1 - \mu^2)(1 - v)^2 P E_{20}}{[\sigma_2] B (0,3 C \alpha E_3)^{0,25}} \right]^{0,8}. \quad (10)$$

Уравнения (8)–(10) позволяют определить несущую способность двухслойных зимних дорог, верхний слой которых представляет собой поперечный деревянный настил, нижний – мерзлый торф.

В формулу (10) входит расчетная величина  $\alpha$ . Для ее определения необходимо произвести расчет вспомогательной балки, поперечное сечение которой показано на рис. 5. Оно состоит из продольного настила и слоя мерзлого торфа. Подробная методика такого расчета приведена выше. Согласно ей находим положение нейтральной плоскости, т. е. величину  $v'$ , эквивалентный модуль упругости  $E_3$ , а затем коэффициент поперечного изгиба  $\alpha$ .

Приведем пример расчета при следующих исходных данных:  $E_{10} = 460$  МПа;  $E_{20} = 1600$  МПа;  $\mu = 0,36$ ;  $[\sigma_2] = 1,9$  МПа;  $P = 165000$  Н;  $B = 700$  см;  $C = 3$  Н/см<sup>3</sup>;  $\alpha = 0,6$ . Результаты расчета даны в табл. 3.

*Анализ результатов расчета.* 1. В первой строке табл. 3 приведены расчетные величины при  $v_3 = 0$ . Если поперечный настил отсутствует,

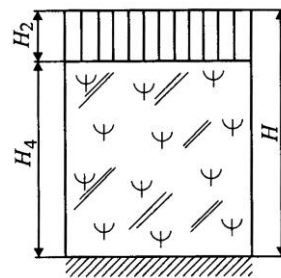


Рис. 5. Поперечное сечение балки

$v_3$	Расчетные показатели							
	$\nu$	$E_3$ , МПа	$H_3$ , см	$H_3$ , см	$H_4$ , см	$z_1$ , см	$z_2$ , см	$y_{\max}$ , см
0	0,462	294,5	27,0	0	27,0	12,5	14,5	7,26
0,2	0,570	120,6	32,3	6,46	25,8	18,4	13,9	6,96
0,4	0,677	38,2	40,6	16,25	24,4	27,5	13,1	6,56
0,6	0,784	7,5	56,2	33,70	22,5	44,1	12,1	6,05
0,8	0,892	4,7	73,1	58,48	14,6	65,2	7,9	3,95

имеем однослойную дорогу из мерзлого торфа. В этом случае значения расчетных величин совпадают с результатами расчетов, полученными ранее для однослойной дороги при тех же самых исходных данных [2].

2. При увеличении  $v_3$ , т. е. при укладке поперечного настила различной толщины  $H_3$ , одновременно уменьшается расчетная величина слоя мерзлого торфа  $H_4$ . Это приводит к уменьшению эквивалентного модуля упругости. Полная толщина дорожной одежды  $H$  с возрастанием  $H_3$  и рабочая толщина слоя мерзлого торфа  $H_4$ , создающая основное сопротивление изгибу поперечного настила, уменьшаются.

3. В табл. 3 приведены максимальные значения  $z_1$ ,  $z_2$ ,  $y_{\max}$ . Можно отметить, что при любой толщине поперечного бревенчатого настила максимальные растягивающие напряжения приходятся на слой мерзлого торфа, т. е. применение формулы (3) для определения величины  $H$  является оправданным.

4. На рис. 6 даны схемы поперечных сечений дорожной одежды для различных расчетных случаев. Рисунок наглядно демонстрирует зависимость толщины  $H_4$  слоя мерзлого торфа от толщины поперечного настила  $H_3$ . С увеличением  $H_3$  значение  $H_4$  сохраняется, но одновременно возрастает толщина дорожной одежды  $H$ .

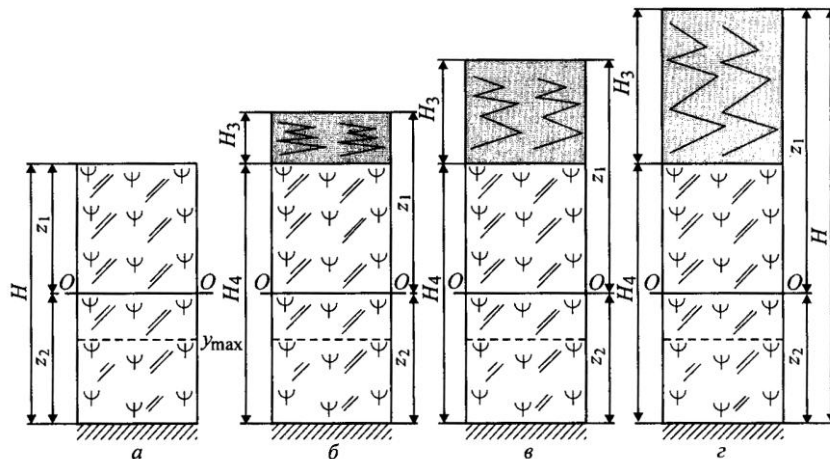


Рис. 6. Схемы поперечных сечений двухслойных дорожных одежд:

$$a - v_3 = 0; \quad b - v_3 = 0,2; \quad v - v_3 = 0,3; \quad z - v_3 = 0,4$$

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

Влияние поперечного настила на несущую способность зимних дорог на болотах не является эффективным. Поперечный настил в основном увеличивает конструктивную жесткость дорожной одежды, продольный настил – продольную жесткость.

Несущая способность зимних дорог, состоящих из продольного настила и слоя мерзлого торфа, определяется преимущественно прочностью настила, так как на практике обычно  $\sigma_{\max}^{\text{д}} > \sigma_{\text{adm}}^{\text{д}}$ . Это условие имеет место при толщине настила  $\leq 10$  см. При толщине настила  $\geq 20$  см и достаточно большой толщине мерзлого слоя торфа выполняется условие  $\sigma_{\max}^{\text{д}} < \sigma_{\text{adm}}^{\text{д}}$ , т. е. излома лежней не будет.

С увеличением ширины настила нормальные напряжения  $\sigma_{\max}^{\text{д}}$  уменьшаются, что также способствует повышению несущей способности дорожной одежды.

Максимальное напряжение в мерзлом торфе существенно зависит от толщины настила. При  $H_3 = 5 \dots 10$  см нормальные напряжения для слоя мерзлого торфа толщиной менее 40 см больше допустимых значений, т. е. укладка настила не повышает несущей способности дорожной одежды. При  $H_3 \geq 20$  см толщина слоя мерзлого торфа не ограничивает применения зимних дорог ( $\sigma_{\max}^{\text{т}} \leq \sigma_{\text{adm}}^{\text{т}}$ ).

Несущая способность зимних дорог на болотах, состоящих из деревянного лежневого настила и слоя мерзлого торфа, лимитируется прочностью деревянного настила.

Для уменьшения напряжений в настиле можно увеличить не только толщину, но и ширину настила. При изменении этих характеристик выполняется условие  $\sigma_{\max}^{\text{д}} < \sigma_{\text{adm}}^{\text{д}}$ , но это сопряжено с повышенным расходом древесины.

Укладка поперечного настила приводит к увеличению коэффициента поперечного изгиба  $\alpha$ , что позволяет уменьшить  $\sigma_{2\max}$  и  $\sigma_{\max}^{\text{т}}$  в зависимости от толщины поперечин и расстояния между ними. Она особенно заметна при малых толщинах слоя мерзлого торфа.

Таким образом, укладка продольного и поперечного настила незначительно повышает несущую способность зимней дороги. Однако такую конструкцию следует рассматривать как временную, так как она не обеспечивает существенного повышения долговечности дороги в осенний и весенний периоды эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Евгеньев, И.Е.* Строительство автомобильных дорог через болота [Текст] / И.Е. Евгеньев. – М.: Транспорт, 1968. – 219 с.
2. *Морозов, В.С.* Расчет толщины зимних лесовозных дорог на болотах [Текст] / В.С. Морозов // Лесн. журн. – 1991. – № 3. – С. 48–52. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Морозов, В.С.* Расчет и проектирование оснований зимних дорог на болотах [Текст]: учеб. пособие / В.С. Морозов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 236 с.

4. *Морозов, В.С.* Рекомендации по применению сезонных зимних лесовозных дорог на болотах [Текст] / В.С. Морозов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. – 124 с.

5. *Шахуняни, Г.М.* Земляное полотно железных дорог [Текст] / Г.М. Шахуняни. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – 327 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 04.02.03

*V.S. Morozov*

### **Wood Deck Effect on Bearing Capacity of Winter Motor Roads**

Effect of lengthwise and cross wood decks settled in the winter motor roads' base and enhancing their bearing capacity and operation life is considered.





УДК 630\*378.33

**М.С. Сергеев, М.М. Овчинников, Э.М. Гусейнов**

Овчинников Михаил Михайлович родился в 1930 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры водного транспорта леса и гидравлики С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, заслуженный работник высшей школы, действительный член РАЕН и Карельского филиала РИА. Имеет более 150 печатных работ в области технологии водного транспорта леса, мелиорации лесосплавных путей и гидротехнических сооружений.



Гусейнов Эльдар Мусаевич родился в 1949 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 60 печатных трудов в области механизации лесозаготовительных и лесохозяйственных работ.



## **МОДЕЛЬ СТОЛКНОВЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНОЙ СПЛОТОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ С РЕЕВЫМ БОНОМ**

Рассмотрен удар лесотранспортного модуля о реевый бон, приведена новая методика расчета средних импульсов ударных сил и момента инерции бона.

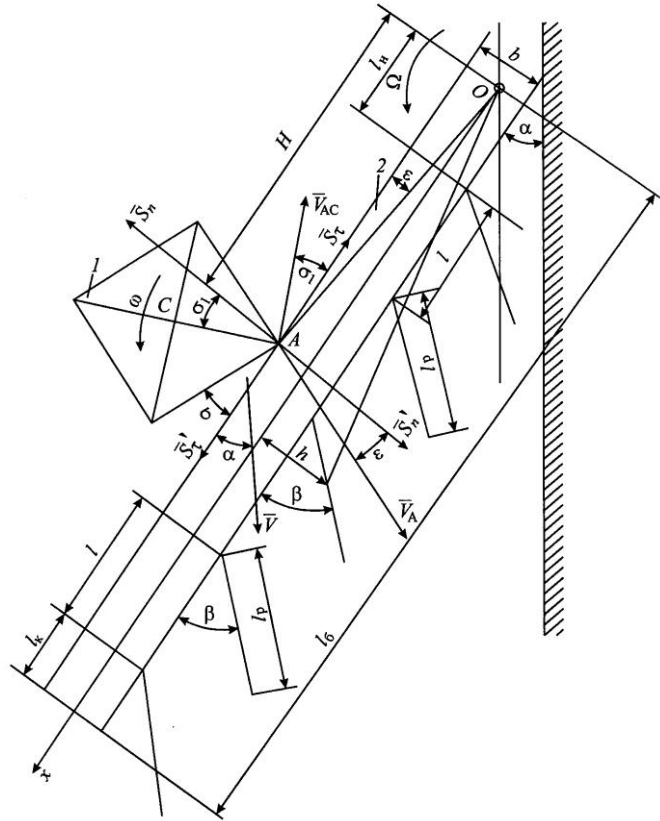
*Ключевые слова:* лесотранспортный модуль, реевый бон, ударные нагрузки, модель расчета.

Целью работы является изучение удара крупногабаритной сплотночной единицы – лесотранспортного модуля (ЛТМ) о реевый бон.

Задача исследования – разработка математической модели расчета импульса ударных нагрузок при столкновении ЛТМ с реевым боном.

При выводе расчетных зависимостей будем полагать, что до соприкосновения с лесотранспортным модулем реевый бон находился в стационарном режиме обтекания свободным потоком и имел угол  $\alpha$  между осью бона и направлением течения, численное значение которого установлено в работе [1, 4] (см. рисунок). Движение ЛТМ до удара в точке  $A$  происходило

Геометрические характеристики и угловые положения реевого бона:  
 1 – сплоточная единица;  
 2 – реевый бон



со скоростью  $V$  речного потока. Массовые параметры ЛТМ – масса  $m$  и момент инерции  $I$  относительно центра масс – определены в работе [2] с учетом плотности леса, размеров и полндревесности ЛТМ, а также осадки реевого бона.

Для установления ударных импульсов и других параметров удара необходимо знать численные значения моментов инерции бона и всех рей относительно точки  $O$  крепления бона к берегу (см. рисунок).

Число рей определено из уравнения

$$\frac{l_6 - l_n - l_k}{l} = n - 1, \quad (1)$$

где  $l_6$  – длина бона;

$l_n$  – расстояние от точки  $O$  крепления реевого бона на берегу до первой рей;

$l_k$  – расстояние от узла крепления последней рей до конца бона;

$l$  – расстояние между узлами крепления рей;

$n$  – число рей.

Было установлено, что  $n = 18$  ряем [2, 3].

Момент инерции реевого бона  $I_0$  относительно точки  $O$  состоит из суммы моментов инерции бона  $I_{об}$  и моментов инерции от всех рей  $I_{ор}$ , т. е.

$$I_O = I_{об} + I_{ор}. \quad (2)$$

На основании известных правил теоретической механики получим расчетные формулы для определения  $I_{об}$ :

$$I_{об} = \left(\frac{l_6}{2}\right)^2 m_6 + \frac{1}{3} m_6 \left[ \left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{l_6}{2}\right)^2 \right]. \quad (3)$$

Здесь масса бона

$$m_6 = l_6 b h k \rho_{др} + l_6 b t (1 - k) \rho_в,$$

где  $b$ ,  $l_6$ ,  $h$ ,  $t$  – соответственно ширина, длина, высота, осадка шестибревенного однорядного бона с козырьком;

$k$  – коэффициент полнодревесности бона;

$\rho_{др}$ ,  $\rho_в$  – плотность соответственно древесины и воды.

Численное значение момента инерции бона при  $l_6 = 200$  м;  $b = 1,2$  м;  $h = 0,6$  м;  $t = 0,25$  м;  $k = 0,65$ ;  $\rho_{др} = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_в = 1000$  кг/м<sup>3</sup> равно:

$$I_{об} = 1278 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции от всех рей относительно точки  $O$  может быть вычислен по формуле

$$I_{ор} = m_p \sum_{k=1}^n \left\{ \left[ l_n + \frac{l_p}{2} \cos \beta + l(k-1) \right]^2 + \left( \frac{b}{2} + \frac{l_p}{2} \sin \beta \right)^2 \right\} + n I_p, \quad (4)$$

где  $m_p$  – масса рей,  $m_p = 2c h_p 2a \rho_{др}$  ( $2c$  – ширина (толщина) рей;  $h_p$  – высота рей);

$l_p$  – длина рей,  $l_p = 2a$ ;

$\beta$  – угол установки рей к бону;

$$I_p = \frac{1}{3} m_p (c^2 + a^2).$$

При  $2c = 0,3$  м;  $l_p = 6,5$  м;  $h_p = 0,6$  м;  $\beta = 62^\circ$ ;  $l = 11$  м;  $l_n = 10$  м;  $n = 18$  шт. момент инерции  $I_{ор} = 236 \cdot 10^6$  кг · м<sup>2</sup>. Тогда общий момент инерции бона с реями

$$I_O = I_{об} + I_{ор} = 1514 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (5)$$

Составим основные уравнения теории удара. Взаимное положение плота относительно бона показано на рисунке.

На основании теоремы о движении центра масс плота имеем

$$m(\bar{V}_c - \bar{V}) = \bar{S}_\tau + \bar{S}_n, \quad (6)$$

где  $\bar{V}_c$ ,  $\bar{V}$  – скорости центра масс плота, соответственно после и до удара;

$\bar{S}_\tau$ ,  $\bar{S}_n$  – составляющие ударного импульса от бона, действующие на плот через точку  $A$  вдоль и по нормали к оси бона.

Спроектируем векторное уравнение (6) на оси координат:

$$m(V_{cx} - V \cos \alpha) = -S_\tau; \quad (7)$$

$$m(V_{cy} + V \sin \alpha) = S_n. \quad (8)$$

Используя теорему об изменении момента количества движения относительно центра масс плота, можно получить следующее уравнение моментов:

$$I\omega = S_{\tau} a \cos \sigma_1 + S_n a \sin \sigma_1, \quad (9)$$

где  $\omega$  – угловая скорость плота после удара;

$a$  – расстояние от центра масс плота до точки  $A$  соударения плота с боном,  $a = CA$ .

При записи уравнений (7)–(9) теории удара принято допущение, что точка  $A$  плота не скользит вдоль края бона, т. е. объединяется с точкой  $A$  бона в единое целое. Другими словами, это означает шарнирную связь плота с боном в точке  $A$ . Случай скольжения точки  $A$  плота относительно бона в данной работе не рассматривается.

При ударе ЛТМ о бон последний вращается вокруг точки  $O$  его крепления к берегу. Согласно теореме об изменении момента количества движения бона с реями можно записать

$$I_O \Omega = S'_n H + S'_{\tau} \frac{b}{2},$$

где  $\Omega$  – угловая скорость бона с реями после удара.

$H$  – расстояние от точки удара плота о бон до точки его крепления к берегу.

Так как  $\bar{S}'_n = -\bar{S}_n$ ,  $\bar{S}'_{\tau} = -\bar{S}_{\tau}$  ( $S'_n = S_n$ ,  $S'_{\tau} = S_{\tau}$ ), то последнее уравнение принимает вид

$$I_O \Omega = S_n H + S_{\tau} \frac{b}{2}. \quad (10)$$

Неизвестными в уравнениях (7)–(10) являются  $V_{cx}$ ,  $V_{cy}$ ,  $\omega$ ,  $\Omega$ ,  $S_{\tau}$ ,  $S_n$ , т. е. число неизвестных превышает число линейных уравнений на две единицы. По этой причине надо составить еще два линейных уравнения. Для этой цели используем условия совпадения точек  $A$  плота и бона.

Очевидно, что скорость точки  $A$  бона после удара равна:

$$\bar{V}_A = \bar{\Omega} \times \bar{OA} \quad \text{или} \quad V_A = \Omega \cdot OA,$$

а скорость той же точки  $A$ , принадлежащей плоту,

$$\bar{V}_{A_1} = \bar{V}_C + \bar{\omega} \times \bar{CA}.$$

Приравняв эти две скорости, получим векторное уравнение в следующем виде:

$$\bar{\Omega} \times \bar{OA} = \bar{V}_C + \bar{\omega} \times \bar{CA} = \bar{V}_C + \bar{V}_{AC},$$

где  $\bar{V}_{AC}$  – скорость точки  $A$  при вращении вокруг центра масс,  $V_{AC} = \omega a$  ( $a = AC$ ).

Спроектируем последнее уравнение на оси координат, тогда

$$V_A \sin \varepsilon = V_{cx} - V_{AC} \cos \sigma_1;$$

$$-V_A \cos \varepsilon = V_{cy} + V_{AC} \sin \sigma_1,$$

где  $\varepsilon$  – угол между векторами скорости точки  $A$  после удара ЛТМ о бон и ударного импульса от бона.

Последние два уравнения с учетом принятых обозначений принимают вид:

$$V_A \sin \varepsilon = V_{cx} - \omega a \cos \sigma_1; \quad (11)$$

$$-V_A \cos \varepsilon = V_{cy} + \omega a \sin \sigma_1. \quad (12)$$

Таким образом, имеем необходимое число линейных уравнений (7)–(12) для определения всех шести неизвестных  $V_{cx}$ ,  $V_{cy}$ ,  $\omega$ ,  $\Omega$ ,  $S_\tau$ ,  $S_n$ .

Далее воспользуемся методом Гаусса исключения неизвестных величин для решения поставленной задачи.

В уравнения (11) и (12) вместо неизвестных  $V_{cx}$ ,  $V_{cy}$ ,  $\omega$ ,  $\Omega$  подставляем их значения, найденные из уравнений (7)–(10), а именно:

$$V_{cx} = -\frac{S_\tau}{m} + V \cos \alpha; \quad (13)$$

$$V_{cy} = \frac{S_n}{m} - V \sin \alpha; \quad (14)$$

$$\omega = \frac{1}{I} (S_\tau a \cos \sigma_1 + S_n a \sin \sigma_1); \quad (15)$$

$$\Omega = \frac{1}{I_O} \left( S_n H + S_\tau \frac{b}{2} \right). \quad (16)$$

В результате преобразований получим два уравнения для определения двух неизвестных  $S_\tau$ ,  $S_n$ :

$$a_{11} S_\tau + a_{12} S_n = b_1 \quad (17)$$

и

$$a_{21} S_\tau = a_{22} S_n = b_2, \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{b^2}{4} + \frac{I_O}{m} + \frac{I_O a^2 \cos^2 \sigma_1}{I}; & a_{12} &= \frac{Hb}{2} + \frac{I_O a^2 \cos \sigma_1 \sin \sigma_1}{I}; \\ a_{21} &= -a_{12}; & a_{22} &= -H^2 - \frac{I_O}{m} - \frac{I_O a^2 \sin^2 \sigma_1}{I}; \\ b_1 &= I_O V \cos \alpha; & b_2 &= -I_O V \sin \alpha. \end{aligned} \quad (19)$$

При вычислении коэффициентов  $a$  в выражениях (19) учтено, что в силу малости угла  $\varepsilon$  (см. рисунок) принято:  $\sin \varepsilon = \frac{b}{2H}$ ,  $\cos \varepsilon = 1$ ,  $AO = K$ ,  $V_A = \Omega H$ .

Уравнения (17) и (18) запишем в матричной форме с введением квадратной матрицы

$$A_1 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix},$$

матрицы столбцов (столбцевых матриц) неизвестных  $X = \begin{vmatrix} C_\tau \\ C_n \end{vmatrix}$  и матрицы столбца свободных членов  $B_1 = \begin{vmatrix} b_1 \\ b_2 \end{vmatrix}$ .

В итоге матричная запись уравнений (17) и (18) принимает вид

$$A_1 X = B_1. \quad (20)$$

Решение уравнения (20) запишем в форме матричной алгебры.

Введем в рассмотрение так называемую обратную матрицу  $A_1^{-1}$ :

$$A_1^{-1} = \begin{vmatrix} \frac{a_{22}}{|A_1|} & \frac{-a_{12}}{|A_1|} \\ \frac{-a_{21}}{|A_1|} & \frac{a_{11}}{|A_1|} \end{vmatrix}. \quad (21)$$

Умножим обратную матрицу  $A_1^{-1}$  слева на левую и правую части уравнения (20):

$$A_1^{-1} \cdot A_1 X = A_1^{-1} \cdot B_1.$$

Так как произведение обратной матрицы  $A_1^{-1}$  на матрицу  $A_1$  равно единичной матрице  $E$ , то

$$A_1^{-1} A_1 = E = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Кроме того учтем, что  $EX = X$ , тогда

$$A_1^{-1} B_1 = \begin{vmatrix} \frac{a_{22}b_1 - a_{12}b_2}{|A_1|} \\ \frac{-a_{21}b_1 + a_{11}b_2}{|A_1|} \end{vmatrix}.$$

В итоге решение уравнения (21) принимает вид, удобный для расчетов:

$$C_\tau = \frac{a_{22}b_1 - a_{12}b_2}{|A_1|}; \quad (22)$$

$$C_n = \frac{-a_{21}b_1 + a_{11}b_2}{|A_1|}, \quad (23)$$

где определитель матрицы  $|A_1|$  равен:

$$|A_1| = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}.$$

Пример расчета ЛТМ. Исходные данные: плановые размеры плота  $24 \times 24$  м; масса плота  $m = 79,68 \cdot 10^4$  кг; момент инерции плота относительно центра его массы  $I = 76,24 \cdot 10^6$  кг  $\cdot$  м<sup>2</sup>; длина  $CA = a = 19,97$  м;

скорость речного потока  $V = 1,2$  м/с; стационарный угол между осью бона и берегом реки  $\alpha = 21^\circ 30'$ ; ширина бона  $b = 1,2$  м; расстояние от точки  $A$  столкновения плота вдоль оси  $X$  равно  $H = 100$  м;  $\sin \varepsilon = \frac{b}{2AO} = \frac{b}{2H}$  (принимаем в силу малости угла  $\varepsilon < 1^\circ$ ,  $AO = H$ ), углы  $\sigma = 10^\circ$ ,  $\sigma_1 = 35^\circ$ ; момент инерции бона с учетом масс всех 18 рей принимаем равным  $I_O = 1514 \cdot 10^6$  кг · м<sup>2</sup>. Приводим численные значения некоторых основных коэффициентов и величин, входящих в уравнения (17) и (18):

$$a_{11} = 5,738 \cdot 10^3; \quad a_{12} = 2,747 \cdot 10^3; \quad a_{21} = -2,747 \cdot 10^3; \quad a_{22} = -13,78 \cdot 10^3;$$

$$b_1 = 1690 \cdot 10^6 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{с}}; \quad b_2 = -666 \cdot 10^6 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{с}}; \quad |A_1| = -71,53 \cdot 10^6.$$

Ударные импульсы  $S_\tau$  и  $S_n$ , вычисленные по формулам (22), (23), оказались равными:  $S_\tau = 30 \cdot 10^4$  кг · м/с;  $S_n = 1,147 \cdot 10^4$  кг · м/с.

Остальные неизвестные, рассчитанные по формулам (13)–(16), равны:  $V_{cx} = 0,74$  м/с;  $V_{cy} = -0,425$  м/с;  $\omega = 4,79 \cdot 10^{-2}$  1/с;  $\Omega = 0,08764 \cdot 10^{-2}$  1/с;  $V = \sqrt{V_{cx}^2 + V_{cy}^2} = 0,8533$  м/с,  $S = \sqrt{S_\tau^2 + S_n^2} = 30,02 \cdot 10^4$  кг · м/с.

Приводим средние значения ударной силы на основании теоремы о среднем значении определенного интеграла  $S = \int_0^{\Delta t} P_{уд} dt = P_{уд,ср} \Delta t$ , где  $\Delta t$  – продолжительность удара,  $P_{уд,ср} = \frac{S}{\Delta t}$ .

$\Delta t$ , с	$P_{уд} \cdot 10^{-6}$ , Н	$\Delta t$ , с	$P_{уд} \cdot 10^{-6}$ , Н
0,01	30,0	0,15	2,0
0,05	6,0	0,20	1,5
0,10	3,0	1,00	0,3

#### Выводы

1. Разработан метод расчета ударных импульсов при столкновении крупногабаритной сплочной единицы с реевым бонем при условии, что последний находится в стационарном режиме обтекания свободным речным потоком, а также при известном расчетном угле  $\alpha$  между осью бона и направлением течения реки.

2. Предложена методика расчета момента инерции реевого бона относительно вертикальной оси, проходящей через точку крепления бона к берегу. Эта методика позволяет учитывать геометрию расположения всех рей относительно бона, его осадку, полнодревесность и плотность лесоматериалов.

3. Средние значения ударной силы, полученные в работе, необходимо учитывать при расчетах узлов крепления бревен в конструкции бона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Овчинников, М.М.* Гидродинамический расчет реевого бона [Текст] / М.М. Овчинников, М.С. Сергеев // Лесоинженерное дело: сб. науч. тр. – СПб.: ЛТА, 1997. – С. 120–128.
2. *Овчинников, М.М.* Определение геометрических и массовых характеристик крупногабаритной сплочной единицы [Текст] / М.М. Овчинников, Н.П. Боброва // Изв. СПб ГЛТА, 1997. – С. 43–52.
3. *Сергеев, М.С.* Удар крупногабаритной сплочной единицы о реевый бон [Текст] / М.С. Сергеев, М.М. Овчинников // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: ЛТА, 1999. – С. 91–96.
4. *Сергеев, М.С.* О взаимодействии реевого бона со свободным речным потоком [Текст] / М.С. Сергеев, М.М. Овчинников // Лесн. журн. – 2002. – № 1. – С. 61–67. – (Изв. высш. учеб. заведений).

С.-Петербургская лесотехническая  
академия

Поступила 20.02.06

M.S. Sergeev, *M.M. Ovchinnikov, E.M. Gusejnov*

### **Collision Model of Heavy-duty Rafting Unit with Finboom**

The collision of the forest-transport module with finboom is considered, new technique for calculating the average impulse of impact forces and finboom inertia moment is provided.

---



УДК 624.21:691.116

### ***В.П. Стуков***

Стуков Валерий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства верфи филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный дорожник РФ. Имеет более 70 печатных работ в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.



## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МОСТОВ С БАЛКАМИ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Показано, что конструкционная защита клееной древесины при использовании деревожелезобетонных балок существенно снижает круг дефектов и способна обеспечить длительные сроки эксплуатации мостового сооружения.

*Ключевые слова:* мосты, балки, клееная древесина, дефекты.

В Архангельской области эксплуатируют до трети мостов с балками из клееной древесины. География их строительства – 10 районов области с отличающимися климатическими условиями.

Проектирование автодорожных мостов с балками из клееной древесины предполагает привязку типовых проектов к местным условиям (в соответствии с производственными возможностями строящей организации). В таких проектах (810-Р, 810-К и др.) приняты два варианта конструкционного решения плиты: дощато-гвоздевая и железобетонная. Покрытие проезжей части должно быть асфальто- или цементобетонным. Проекты предусматривали единые сроки эксплуатации элементов из различных материалов. Упрощение конструкции неизбежно ведет к ухудшению условий работы клееной древесины, сокращению сроков нормальной эксплуатации и, по большому счету, дискредитации ее использования в мостовом сооружении. Массовое строительство мостов имело место в 1982–1989 гг. Все мосты построены подразделениями управления «Архангельскавтодор» (МРСУ, Котласский, Вельский, Виноградовский, Ленский ДРСУ и пр.). Из них 89 % балок пролетных строений выполнены в соответствии с типовым проектом 810-Р Гипроавтотранса (изготовитель балок – ЭПЗ «Красный Октябрь» в г. Архангельске), остальные по проекту 810-К Союздорпроекта (изготовитель – завод КДК в г. Вельске). В 73 пролетных строениях использованы 556 балок (из них 374 балки, или 67,3 % длиной 18 м, 110 балок, или 19,8 % – 15 м, 48 балок, или 8,6 % – 12 м, 24 балки, или 4,3 % – 9 м). При обследовании состояния клееной древесины в мостовом сооружении на основании экспертной оценки решали комплекс задач по воздействию окружающей среды, специфики конструкции моста, состояния

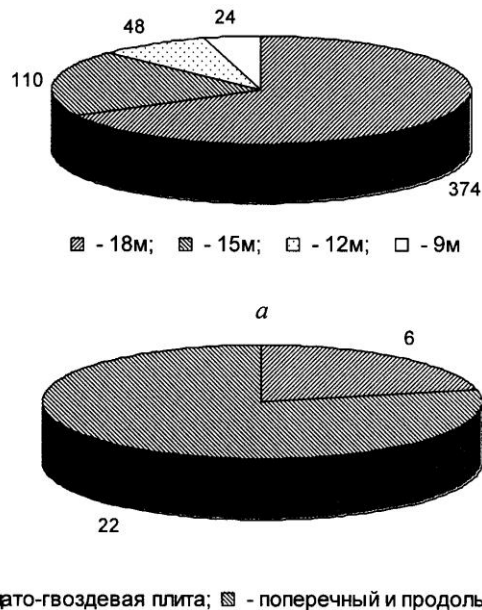


Рис. 1. Информация по обследованным мостам:  
*a* – число деревоклеенных балок различных пролетов, шт.;  
*б* – число мостов различной конструкции настила проезжей части, шт.

элементов и конструкции в целом и т. д. Из информации по обследованным мостам, представленным на рис. 1, *a* и *б*, следует, что использованы все рекомендуемые типовыми проектами пролеты. Из них 67,3 % балок имеют рекордную для типового проектирования длину 18 м. Только 21,4 % настилов выполнены в виде деревоплиты. Отступление от типового проекта является определяющим в проявлении большинства дефектов. Деревоплита предполагает конструкционную защиту балок из клееной древесины, тогда как поперечный и продольные настилы, традиционно используемые в деревянных мостах, абсолютно не защищают клееную древесину от попадания воды с проезжей части мостового сооружения. На рис. 2 и 3 показана картина разрушения пролетных строений обследованных мостов.

Почти у 60 % мостов разрушен продольный деревянный настил, у 30 % – поперечный; у 50 % обнаружено загнивание древесины элементов (в основном настила); у 36 % мостов разрушению подвержены основные несущие элементы конструкции пролетного строения – деревоклеенные балки.

В основном загниванию подвержена неантисептированная древесина настила. Несоответствие конструктивного исполнения требованиям капитальности конструкции – единству элементов конструкции по срокам службы – во многом усилило дефектообразование. Проезжая часть половины обследованных мостов засыпана грунтом, что усугубляет режим

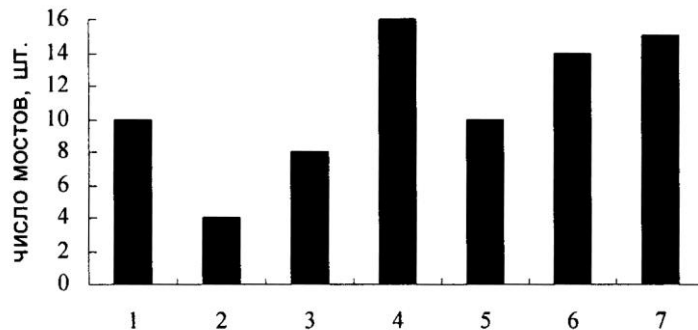


Рис. 2. Разрушение элементов пролетных строений и грунт на проезжей части моста: 1 – сквозные расслоения клеевых швов балок; 2 – деревоплита; 3 – поперечный настил; 4 – продольный двойной настил; 5 – тротуары и перила; 6 – загнивание элементов конструкции; 7 – грунт на проезжей части моста

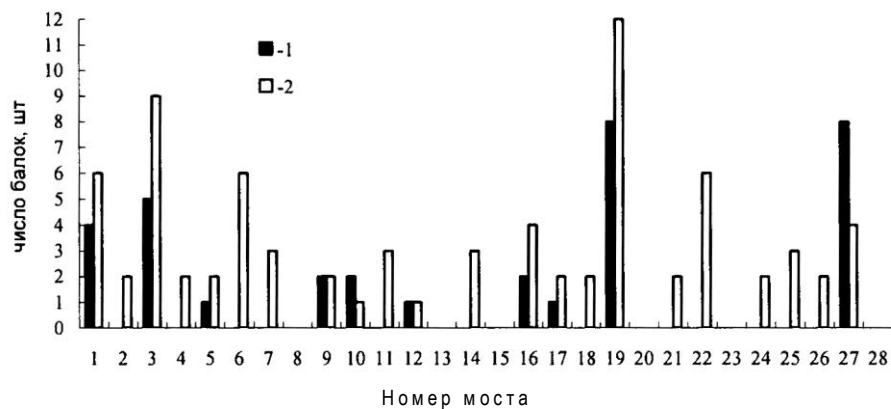


Рис. 3. Расслоения клеевых швов балок в обследованных пролетных строениях: 1 – сквозные расслоения; 2 – несквозные расслоения. Нумерация мостов – согласно табл. 1 и 2 в работе [2]

работы древесины. В четырех из шести обследованных мостов разрушена деревоплита.

Расслоение клеевых швов в балках обследованных мостов носит всеобъемлющий характер, это основной дефект пролетного строения с деревоклееными балками. Исключить его – значит дать клееной древесине путевку в мостостроение. Во вновь построенных мостах этот дефект пока не проявился.

Представляет интерес состояние пролетных строений моста через р. Лявлю после длительной эксплуатации. В данной конструкции для клееной древесины создан нормальный температурно-влажностный режим, за исключением отклонений (недостаточный зазор между торцом балки и шкафной стенкой устоя, намокание клееной древесины через деформацион-

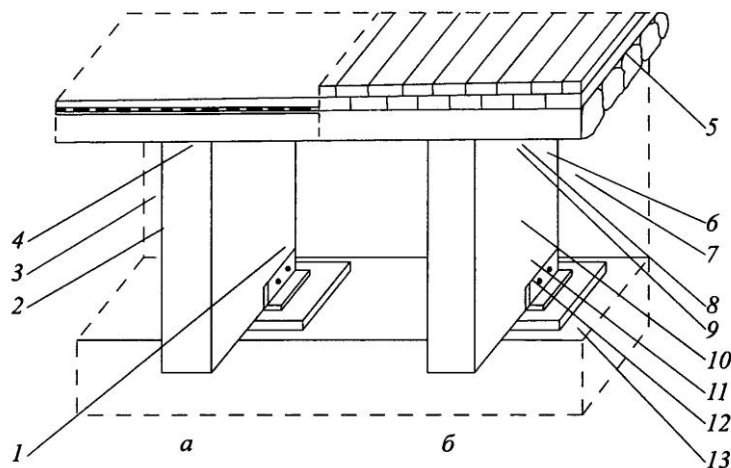


Рис. 4. Основные дефекты пролетных строений с деревоклееными балками (ребрами) *а* – пролетное строение с балками из клееной древесины и железобетона; *б* – пролетное строение с деревоклееными балками; 1 – загнивание клееной древесины; 2 – расслоение клеевых швов фасадных поверхностей крайних балок; 3 – недостаточный зазор между торцами балок и шкафной стенкой устоя; 4 – конструктивные недоработки сопряжения ригеля с плитой; 5 – отсутствие водоотвода с проезжей части моста; грунт на проезжей части моста; отступления от типовых проектов, предусматривающих использование деревоплиты с асфальтобетонным или цементобетонным покрытием; разрушение продольного и поперечного настилов с загниванием древесины; отсутствие гидроизоляции в конструкции полотна проезжей части; 6 – отсутствие конструктивной защиты клееной древесины ребер; 7 – недостаточный зазор между торцами ребер балки и шкафной стенкой устоя (или заборной стенкой); 8 – замачивание клееной древесины ребер; 9 – загнивание древесины верху ребер; 10 – расслоение клеевых швов ребер; 11 – загнивание древесины ребер в месте опирания на опору; 12 – отсутствие гидроизоляции между древесиной ребра и металлической опорной частью; 13 – смерзшаяся грязь на подферменных площадках опор

ный шов, загнивание ее на опорном участке у одной из балок – как последствия эксплуатации до реконструкции совместно с дефектами установки болта диафрагмы и т. д.), не связанных со спецификой конструкции балки (комбинированное сечение из клееной древесины и железобетона). Число дефектов несоизмеримо меньше, чем в деревянных пролетных строениях. На рис. 4 приведены основные дефекты в рассматриваемых пролетных строениях. Интересно проанализировать информацию, приведенную в табл. 1 и 2 работы [2] с точки зрения влияния различных факторов на эксплуата-

ционные качества клееной древесины после длительного периода эксплуатации. Первоначальные характеристики пролетного строения, в частности клееной древесины, утрачиваются со временем. В этот процесс вносят свой вклад различные факторы. Интересно установить, например, какие из внешних воздействий, полученных во время эксплуатации дефектов, использованных конструкционных решений и т. д. оказали решающее влияние на состояние клееной древесины.

Поиск факторов, оказывающих наибольшее влияние на снижение первоначальных качеств клееной древесины и пролетного строения в целом, – задача многокритериальная. Для ее оптимального решения используют ряд методов: сравнения, прямые, аксиоматические, компенсации и т. д. Целесообразно применять экспертную оценку решений. Здесь, как и в прямом методе, используют весовые коэффициенты, учитывающие вклад отдельных критериев в обобщенный. Экспертные методы весьма многообразны: 1) сравнение по предпочтительности всех критериев одновременно-непосредственного определения весов (интуитивной оценки), шкальных оценок, фон Неймана – Morgenштерна, Черчмена – Акофа, дерева целей и др.; 2) одновременное сравнение только двух критериев (парное сравнение): парных соотношений, приоритетов, анализа иерархий и др. Заслуживает внимания метод анализа иерархий (МАИ), в котором производят парные сравнения с количественной оценкой предпочтений. Создатель метода Т.Л. Саати исходит из модели естественного хода человеческого мышления, рождающего концепцию и структуру решения сложной проблемы. Оценивают воздействие различных компонент иерархической системы на всю систему, и устанавливают приоритеты этих компонент [1].

С нашей точки зрения, определение решающих факторов в подобной постановке задачи было бы обязательным, если бы не было столь явных нарушений конструкции пролетного строения, дискредитирующих идею использования клееной древесины в мостостроении. Следует выполнить требования конструктивной и химической защиты, и проблемы с массовым дефектообразованием отпадут. Стабильный температурно-влажностный режим, отвечающий условиям нормальной эксплуатации, позволит сохранить первоначальные качества в течение длительного времени.

На рис. 4 показано, насколько сужается круг дефектов при надлежащем обеспечении конструкционной защиты клееной древесины железобетонной плитой. Таким образом, несложная экспертная оценка многообразия факторов позволила охарактеризовать как неприемлемые условия эксплуатации мостов при принятом конструктивном решении пролетного строения с балками из клееной древесины. С нашей точки зрения, не имеет смысла оценивать, что было решающим из внешних факторов или дефектов в снижении первоначальных характеристик, поскольку эксплуатировалась несовершенная конструкция пролетного строения. Конструкционная и химическая защита снимают практически все проблемы долголетия эксплуатации клееной древесины.

Таким образом, выполненные натурные обследования состояния мостов с балками из клееной древесины после длительной эксплуатации в условиях Европейского Севера России и их анализ позволили определить, что основными причинами разрушения клееной древесины балок пролетных строений являются несовершенства конструкции пролетного строения, повлекшие расслоение клеевых швов и биоразрушение других элементов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимирский, С.Р.* Современные методы проектирования мостов [Текст] / С.Р. Владимирский. – СПб.: Папирус, 1998. – 493 с.
2. *Стуков, В.П.* Комплексное исследование мостов с балками из клееной древесины [Текст] / В.П. Стуков // Лесн. журн. – 2006. – № 5. – С. 40–46. – (Изв. высш. учеб. заведений)

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

Поступила 02.06.05

*V.P. Stukov*

#### **Bridges' State Analysis with Laminated Wood Beams**

It is shown that structural protection of laminated wood reduces defects considerably and is able to ensure long-term running of bridgework when using wood and reinforced concrete beams.

---

УДК 658.581: 630\*36

**В.Н. Шиловский, Е.В. Кутырев**

Шиловский Вениамин Николаевич родился в 1945 г., окончил в 1970 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Имеет более 170 печатных трудов в области надежности и ремонта лесных машин.



Кутырев Евгений Владимирович родился в 1980 г., окончил в 2004 г. Петрозаводский государственный университет, аспирант ПетрГУ. Имеет 2 печатные работы в области организации ремонта лесозаготовительных машин.



## **К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Предложены теоретические положения разработки системы технических воздействий на лесозаготовительные машины по их состоянию.

*Ключевые слова:* техническая эксплуатация, диагностика, ремонт, техническое обслуживание, техническое состояние, условия эксплуатации, экономическая эффективность.

Эффективность лесозаготовительного производства зависит от технической готовности используемых машин и оборудования, определяемой коэффициентом  $K_{т.г.}$ , и затрат на обеспечение его оптимального значения.

Наиболее тесную связь между техническим состоянием машин ( $K_{т.г.}$ ) и затратами на поддержание их работоспособности обеспечивают системы, основанные на стратегиях технических воздействий по состоянию эксплуатируемого объекта [2].

Развитие теории эксплуатационной эффективности системы технических воздействий на лесозаготовительные машины (ЛЗМ) предполагает решение следующих задач:

- раскрытие взаимных связей между производительностью, надежностью и экономичностью на основе моделирования (исследования) соответствующей целевой функции, отражающей процесс рядовой эксплуатации ЛЗМ;
- разработка теоретических основ построения гибкой (адаптивной) структуры планово-предупредительной системы технических воздействий на ЛЗМ с учетом результатов диагностики их элементов;

- разработка моделей рядовой эксплуатации и эксплуатационной надежности и на их основе выбор адекватной конкретным условиям стратегии технического обслуживания (ТО), ремонта (Р) и диагностики системы ЛЗМ;
- формирование требований к ремонтпригодности, эксплуатационной технологичности и технической оснащенности ремонтно-обслуживающей базы (РОБ) эксплуатирующих ЛЗМ предприятий;
- решение вопросов автоматизации процесса управления техническим состоянием ЛЗМ, обеспечения оптимальных периодичности и объема работ по диагностике, ТО и ремонту машин.

Минимальная совокупность показателей, характеризующих выполнение основных требований эксплуатационной эффективности, предъявляемых на всех уровнях лесозаготовительного производства, приведена в табл. 1.

Таблица 1

Стадия процесса	Показатели эффективности		
	Надежность	Производительность	Экономичность
Технологическая эксплуатация конкретного вида ЛЗМ	$t_{zi}$ – средняя наработка на отказ $i$ -го вида ЛЗМ	$П_i$ – средняя производительность; $K_{ni}$ – коэффициент использования	$C_{mi}$ – средняя себестоимость единицы продукции по конкретной операции лесозаготовок
Техническая эксплуатация ЛЗМ	$t_{ri}$ – среднее время восстановления (устранения отказа, проведения ТО и диагностики) $i$ -го вида ЛЗМ	$K_{т.г}$ – коэффициент технической готовности; $T_{yi}$ – средние удельные простои при технических воздействиях	$C_{mi}$ – средняя удельная стоимость технических воздействий
Технологическая эксплуатация системы ЛЗМ	$t_o$ – средняя наработка на отказ, приводящий к остановке технологического потока	$П_o$ – производительность системы машин	$C_o$ – себестоимость единицы конечной продукции; $P$ – рентабельность

Необходимые условия для формирования эффективной стратегии технических воздействий по фактическому состоянию входящих в систему ЛЗМ объектов вытекают из требований обеспечения технологии производства конечного продукта, производительности, экономичности эксплуатации машин и оборудования (табл. 2).

Целевую функцию эффективности системы ЛЗМ можно определить по формуле

$$F(t) = \frac{П(t)}{V(t)} K_z = \frac{П(t)}{V(t)} \frac{1}{K_{zi}(t)K_{т.г}(t)}, \quad (1)$$

где  $П(t)$  – прибыль, получаемая при эксплуатации системы ЛЗМ за время  $t$ , зависящая от показателей свойств эффективности, приведенных в



табл. 1;

$V(t)$  – объем продукции, произведенной за время  $t$ , зависящий от показателей эффективности эксплуатации ЛЗМ (табл. 1);

$K_3$  – коэффициент эксплуатационной эффективности ЛЗМ;

$K_z$  – коэффициент, учитывающий степень использования по назначению в соответствии с современной технологией производства продукта;

$K_n(t)$  – коэффициент эффективности использования ЛЗМ;

$K_{т.г}(t)$  – коэффициент технической готовности ЛЗМ.

Фактор времени  $t$  позволяет учитывать изменения параметров целевой функции в период эксплуатации и динамику этого процесса.

Таблица 2

Цель и управляющий фактор	Показатель	Постоянные факторы
Минимизация затрат на техническую эксплуатацию ЛЗМ за счет стратегии технических воздействий по состоянию постоянных (неуправляемых) факторов и самого объекта	Производительность ремонтно-восстановительных работ и диагностики (возможность своевременной диагностики и быстрой замены и восстановления элемента объекта; эксплуатационная и ремонтная контролепригодность и технологичность)	Контролепригодность Доступность Легкосъемность Взаимозаменяемость Ремонтопригодность Состояние РОБ (наличие средств и методов контроля технического состояния объекта, условия работы, механизированность, возможность восстановления и ремонта и т. п.) Наличие зависимости диагностических признаков и технического состояния элементов объекта для оценки и прогноза уровня его работоспособности Средний объем хлыста Технология разработок Рельеф Зона эксплуатации (сезон эксплуатации)
	Производственно-технологическая производительность	Квалификация рабочих Сменность (интенсивность работы) Среднее расстояние трелевки, вывозки Уровень организации труда Процентное соотношение категории дорог и т. п.
	Экономическая эффективность	Средняя удельная трудоемкость и стоимость технических воздействий Средние удельные приведенные затраты Капиталовложения и срок их окупаемо-

сти
Коэффициенты технической готовности и использования парка машин
Себестоимость единицы продукции
Прибыль
Рентабельность

Приводим исходные данные вероятностной модели процесса эксплуатации системы ЛЗМ. Отдельные состояния системы обозначены цифрами в скобках.

Работоспособное состояние:

1. Работа (1) – выполнение основных технологических операций, использование не по назначению.

2. Ожидание использования (8):

- отсутствие сырья;
- отсутствие межоперационного запаса полуфабрикатов;
- распутица;
- технологическая перебазировка;
- организационные причины.

Неработоспособное состояние:

1. Технические воздействия:

- диагностика (2);
- техническое обслуживание (3);
- текущий ремонт (4);
- капитальный ремонт (5).

2. Ожидание технических воздействий:

- ожидание и доставка запасных частей (6);
- организационные причины (7).

Граф состояний и переходов, возникающих при эксплуатации системы, представлен в виде матрицы:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} & P_{17} & P_{18} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} & P_{26} & P_{27} & P_{28} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} & P_{36} & P_{37} & P_{38} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} & P_{45} & P_{46} & P_{47} & P_{48} \\ P_{51} & P_{52} & P_{53} & P_{54} & P_{55} & P_{56} & P_{57} & P_{58} \\ P_{61} & P_{62} & P_{63} & P_{64} & P_{65} & P_{66} & P_{67} & P_{68} \\ P_{71} & P_{72} & P_{73} & P_{74} & P_{75} & P_{76} & P_{77} & P_{78} \\ P_{81} & P_{82} & P_{83} & P_{84} & P_{85} & P_{86} & P_{87} & P_{88} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где  $p_{ij}(p_{12})$  – вероятность перехода из состояния  $i$  (1) в состояние  $j$  (2) согласно приведенному перечню состояний.

Элементы матрицы – случайные величины. Они зависят от момента времени, в который рассматривается ситуация, т. е.  $p_{ij}(\Delta t) = f(\Delta t)$  определяется через период времени и известный закон распределения.

В соответствии с матрицей переходных вероятностей может быть получена система уравнений, определяющая вероятность нахождения объекта в конкретном состоянии на интервале времени  $\Delta t$ :

$$P_i(t + \Delta t) = \sum_{j=1}^M p_{0j} p_{ij}(t + \Delta t), \quad i = 1, 2, \dots, M. \quad (3)$$

Вероятность безотказной работы в момент времени  $t + \Delta t$  равна:

$$P(t + \Delta t) = \sum_{j=1}^M P_j(t + \Delta t) \alpha_j(t) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M p_{0j} p_{ij}(t + \Delta t) \alpha_i(t), \quad (4)$$

где  $\alpha_i(t)$  – условная вероятность выполнения задачи системой при условии, что она находится в состоянии  $x_i$ .

В матричном виде выражение (4) запишется как

$$P(t + \Delta t) = \bar{P}(0) p_{ij}(\Delta t) \bar{\alpha}(t), \quad (5)$$

где  $p_{ij}(\Delta t)$  – матрица переходов системы за время  $\Delta t$ ;

$\bar{P}(0)$  – вектор-строка нулевых (начальных) состояний (вероятностей безотказной работы) системы в начальный момент времени  $t$ ;

$\bar{\alpha}(t)$  – вектор-столбец, элементами которого являются вероятности  $\alpha_i$ .

Примем за возможные следующие состояния технической системы из последовательно соединенных элементов:

0 – работоспособное;

$i$  – неработоспособное в случае отказа любой из составных частей,  $i = 1, 2, \dots, n$  ( $P_{02}$  – вероятность того, что за время  $\Delta t$  откажет элемент № 2).

Граф состояний и переходов ремонтируемой системы, состоящей из последовательно соединенных элементов, представлен на рисунке.

С учетом таблицы (3) и матрицы (2) может быть составлена матрица переходных вероятностей состояния ЛЗМ в исправном, неисправном и ремонтируемом состояниях, вариант которой представлен далее.

Вероятность переходов за время  $t, t + \Delta t$  выражается следующим образом.

1. Если система находится в  $i$ -м состоянии (ремонтируется любая составная часть), то она может оставаться в нем в течение времени  $t, t + \Delta t$  с вероятностью

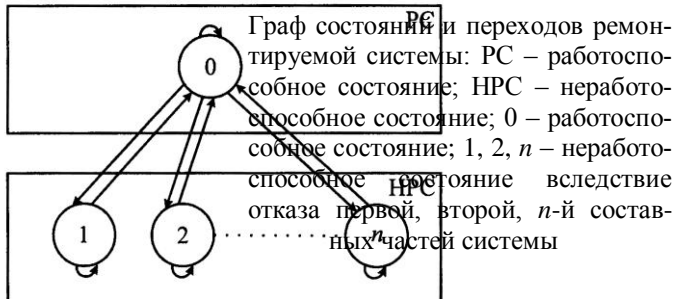
$$p_{ij}(\Delta t) = 1 - q_i(\Delta t), \quad (6)$$

где  $q_i(\Delta t)$  – вероятность восстановления  $i$ -й составной части за время  $\Delta t$ .

2. Если система находится в состоянии 0 в момент времени  $t$ , то

$$P_{00}(\Delta t) = p_1(\Delta t) p_2(\Delta t) \dots p_n(\Delta t) = \prod_{i=1}^n p_i(\Delta t), \quad (7)$$

где  $p_i(\Delta t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента в интервале времени  $t, t + \Delta t$ .



3. Если система находится в исправном состоянии 0 в момент времени  $t$ , то при отказе любой составной части в интервале времени  $t, t + \Delta t$  она может перейти в состояние  $i$  с вероятностью

$$p_{0i}(\Delta t) = 1 - p_i(\Delta t). \tag{8}$$

Если система находится в  $i$ -м состоянии (ремонтируется), то система вернется в исправное состояние 0 за время  $t, t + \Delta t$  с вероятностью

$$p_{0i}(\Delta t) = q_i(\Delta t). \tag{9}$$

Матрица переходных вероятностей  $P(\Delta t)$  для системы с последовательно расположенными составными частями при произвольных законах распределения времени их наработки и восстановления, определяемых с помощью матрицы (2), может иметь вид:

$$P(\Delta t) = \begin{pmatrix} \prod_{i=1}^n p_i(\Delta t) & 1 - p_1(\Delta t) & \dots & 1 - p_i(\Delta t) & \dots & 1 - p_n(\Delta t) \\ q_1(\Delta t) & 1 - q_1(\Delta t) & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_i(\Delta t) & 0 & \dots & 1 - q_i(\Delta t) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_n(\Delta t) & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 - q_n(\Delta t) \end{pmatrix}. \tag{10}$$

Применительно ко всему парку лесозаготовительных машин можно выделить следующие стратегии ТО и ремонта.

Стратегия 1. Объекты системы восстанавливают в заранее назначенные календарные моменты времени по результатам диагностики и в моменты самостоятельного внезапного отказа.

Стратегия 2. Систему восстанавливают либо в момент самостоятельного (аварийного) возникновения (проявления) отказа, либо в заранее определенные календарные моменты времени.

Планирование предварительных проверок (диагностики), определяющих очередность и объемы ТО и Р, на основе баланса стоимости проверок и потерь от необнаружения неисправности системы может быть выражено следующей целевой функцией [1]:

$$M [I_3] = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_k}^{t_{k+1}} \{C_1(k+1) + C_2(t_{k+1} - x)\} dF(x), \quad (11)$$

где  $M[I_3]$  – полное ожидание потерь, р.;

$C_1$  – стоимость проверки (диагностики), р.;

$C_2$  – стоимость пребывания системы в неисправном состоянии в течение 1 ч, р./ч;

$k, k + 1$  – номер проверки;

$t_k$  – время  $k$ -й проверки, ч;

$t_{k+1} - x$  – время между  $k + 1$ -й проверкой и возникшим аварийным отказом, ч;

$F(x)$  – распределение времени до первой неисправности системы.

Схема алгоритма управления эксплуатационной эффективностью системы ЛЗМ определяется фактической информацией о переходах по состояниям процесса, результатами расчета показателей, характеристиками состояний системы ЛЗМ и эффективностью лесозаготовительного процесса.

#### Вывод

Предложенные теоретические основы построения экономически эффективной гибкой (адаптивной) структуры ремонтного цикла машин лесозаготовительного производства на основе оценки уровня надежности, результатов диагностирования технического состояния, прогноза остаточного ресурса и условий эксплуатации ЛЗМ составляют методологическую основу для разработки вариативных систем технического обслуживания и ремонта по состоянию организации лесозаготовительного производства и используемых ЛЗМ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перроте, А.И.* О режиме оптимальной профилактики систем длительного пользования [Текст] / А.И. Перроте // Автоматика. – 1961. – № 3.
2. Создание системы технического обслуживания и ремонта обойнопечатного и грунтовоального оборудования [Текст] / И.В. Абрамов, Ю.В. Верпоховский // Целлюлоза, бумага и картон: экспресс-информ. – М.: ВЖИПИЭИлеспром, 1983. – Вып. 23. – С. 1–3.

Петрозаводский государственный университет

Поступила 15.09.05

*V.N. Shilovsky, E.V. Kutyrev*

**To Question of Operation System Development for Logging Machines**

Theoretical provisions of the system development regarding technical effect on the logging machines according to their state are offered.





## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.053

*В.П. Ивановский*

### НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ДИСКА

Установлено, что с увеличением частот вращения предпочтительно использовать дереворежущий диск с минимальным наружным диаметром.

*Ключевые слова:* диск, напряжения, элемент, равновесие, анализ, деформации, инерция, уравнение, прочность.

Точность деления диска по плоскости в значительной степени обусловлена его устойчивостью. При минимальных значениях толщины диска его жесткость и постоянство формы являются функцией сконцентрированных в нем внутренних напряжений. Потеря работоспособности диска может наступить и вследствие теплового износа, но чаще это происходит с уменьшением его изгибной жесткости при превышении критических частот вращения [2]. Важными причинами разрушения дисков являются также действие несбалансированных центробежных сил инерции, неравномерный нагрев корпуса и поперечные колебания системы «вал–диск» [5].

В целях уточнения диапазона изменения частоты вращения диска и анализа распределения напряжений в нем от действия центробежных сил инерции ниже приведем аналитическое определение возникающих радиальных  $\sigma_r$  и тангенциальных  $\sigma_t$  напряжений по сечению режущего диска.

Любой вращающийся диск можно рассматривать как тело постоянной толщины. Осевые напряжения [1] считаем равными нулю. Выделим на диске элемент  $x$  и составим условие его равновесия (рис. 1).

На поверхности элемента действуют отмеченные на рисунке напряжения, а на боковых гранях элемента – напряжения  $\sigma_\delta$ . На элемент действуют две силы, соответствующие тангенциальным и радиальным напряжениям [3]:

$$F_t = \sigma_t dr; \quad (1)$$

$$F_r = (\sigma_r + d\sigma_r) r d\varphi - \sigma_r r d\varphi. \quad (2)$$

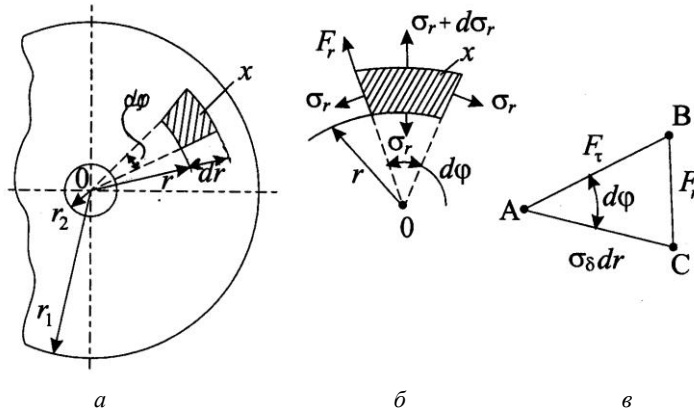


Рис. 1. Элементы диска: *a* – фрагмент диска с элементом  $x$  ( $d\varphi$  – центральный угол;  $r_1$  – радиус окружности резания диска;  $r_2$  – радиус посадочного отверстия;  $r$  – текущий внутренний радиус элемента  $x$ ;  $r + dr$  – наружный радиус); *б* – выделенный элемент  $x$  ( $\sigma_r$  – радиальное напряжение;  $F_r$  – радиальная сила;  $\sigma_r + d\sigma_r$  – радиальные напряжения на наружной поверхности элемента); *в* – треугольник равновесия действующих сил (две тангенциальные  $F_\tau = \sigma_\delta dr$  и одна  $F_r$ )

Итак, в равновесии участвуют три силы, составляющие замкнутый треугольник ABC: две тангенциальные и одна радиальная (рис. 1). Сила  $F_r$  связана с  $F_\tau$  соотношением

$$[\sigma_r + d\sigma_r] + dr - \sigma_r r = \sigma_\tau dr. \quad (3)$$

Пренебрегая малыми высшего порядка, получаем

$$\sigma_r dr + d\sigma_r r = \sigma_\tau dr. \quad (4)$$

Преобразуя (4), имеем уравнение равновесия элемента:

$$\sigma_r - \sigma_\tau + \frac{d\sigma_r}{dr} r = 0. \quad (5)$$

Из уравнения (5) невозможно определить два неизвестных напряжения, т.е. задача является статически неопределимой. Поэтому далее необходимо анализировать деформации выбранного элемента (деформация – радиальное перемещение всех точек поперечного сечения элемента). Для внутренней поверхности элемента деформация равна  $\varepsilon$ . Точки наружной поверхности перемещаются по радиусу на величину  $\varepsilon + d\varepsilon$ , т.е. толщина выделенного элемента увеличивается на  $d\varepsilon$ . Тогда относительное удлинение материала диска в радиальном направлении составит

$$l_r = \frac{d\varepsilon}{dr}. \quad (6)$$

В тангенциальном направлении относительное удлинение элемента пропорционально увеличению радиуса:



$$l_{\tau} = \frac{\varepsilon}{r}. \quad (7)$$

Согласно закону Гука имеем

$$l_r = \frac{1}{E} [\sigma_{\tau} - \mu \sigma_r] = \frac{d\varepsilon}{dr}; \quad (8)$$

$$l_{\tau} = \frac{1}{E} [\sigma_r - \mu \sigma_{\tau}] = \frac{\varepsilon}{r}. \quad (9)$$

Как видно из (8) и (9), деформации  $l_r$  и  $l_{\tau}$  определяются функцией  $\varepsilon$ , поэтому они являются совместимыми. Дифференцируя  $l_{\tau}$  по  $r$ , получаем

$$\frac{dl_{\tau}}{dr} = \frac{1}{r} \left( \frac{d\varepsilon}{dr} - \frac{\varepsilon}{r} \right) = \frac{1}{r} (l_r - l_{\tau}). \quad (10)$$

Заменив  $l_r$  и  $l_{\tau}$  в уравнениях (8) и (9), запишем уравнение связи для  $\sigma_r$  и  $\sigma_{\tau}$ :

$$\frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{E} (\sigma_{\tau} - \mu \sigma_r) \right] = \frac{1+\mu}{rE} (\sigma_r - \sigma_{\tau}) \quad (11)$$

или

$$\frac{d\sigma_{\tau}}{dr} - \mu \frac{d\sigma_r}{dr} = \frac{1+\mu}{r} (\sigma_r - \sigma_{\tau}). \quad (12)$$

Так как диск вращается с угловой скоростью  $\omega$ , то на элемент  $x$  действует сила инерции:

$$dF_{\text{и}} = \frac{m\upsilon^2}{r}, \quad (13)$$

где  $m$  – масса выделенного элемента  $x$ ,

$$m = \frac{\rho dr \cdot r d\varphi}{g}; \quad (14)$$

$\rho$  – плотность стали диска, г/см<sup>3</sup>;

$\varphi$  – центральный угол (рис. 1, б, в), рад;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\upsilon = \omega r$  – окружная скорость вращения диска;

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

$r$  – текущий радиус элемента.

Тогда, напряжения от силы инерции

$$d\sigma_{\text{и}} = \frac{dF_{\text{и}}}{F_{\text{и}}} = \frac{\omega^2 r \rho}{g} dr, \quad (15)$$

Подставляя в уравнение равновесия (5) уравнения (12) и (16), получаем линейное дифференциальное уравнение

$$r \frac{d^2 \sigma_r}{dr^2} + 3 \frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{(3+\mu)\rho \omega^2 r}{g} = 0 \quad (16)$$

или

$$\frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left( r^2 \sigma_r \right) \right] + \frac{(3 + \mu) \rho \omega^2 r}{g} = 0. \quad (17)$$

Проинтегрируем уравнение (17):

$$\sigma_r = \alpha + \frac{\beta}{r^2} - \frac{(3 + \mu) \rho \omega^2 r^2}{8g}. \quad (18)$$

Из уравнений (5) и (18) получим формулу для определения тангенциальных напряжений:

$$\sigma_\tau = \sigma_r + r \frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\rho^2 \omega^2 r^2}{g} = \alpha - \frac{\beta}{r^2} - \frac{(3 + 3\mu) \rho \omega^2 r^2}{8g}. \quad (19)$$

В уравнениях (18) и (19)  $\alpha$  и  $\beta$  являются постоянными интегрирования, которые определяются особенностями конструкции диска и его крепления на валу. Эти постоянные можно найти для удобно «плавающего» крепления диска на валу при  $r = r_1 = r_2$ .

Тогда из формулы (18) имеем

$$\alpha = \frac{(3 + \mu) \rho \omega^2 (r_1^2 + r_2^2)}{8g} = \frac{(3 + \mu) \rho \omega^2 r_1^2 r_2^2}{8g}. \quad (20)$$

Введем условные обозначения:

$$\frac{(3 + 3\mu) \rho \omega^2 r_1^2 r_2^2}{8g} = C; \quad \frac{r_2}{r_1} = A; \quad \frac{\tau_2}{\tau_1} = B; \quad \frac{1 + 3\mu}{3 + \mu} = D, \quad (21)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Решение поставленной задачи по аналитическому определению возникающих в диске напряжений сводится к решению следующих уравнений:

$$\sigma_r = C \left[ 1 + A^2 \left( 1 - \frac{1}{B^2} - B^2 \right) \right]; \quad \sigma_\tau = C \left[ 1 + A^2 \left( 1 - \frac{1}{B^2} \right) - DB^2 \right]. \quad (22)$$

С помощью ЭВМ для различных значений  $B$  (т.е. для различных вариантов расположения элемента  $x$  по корпусу диска) построена закономерность распределения напряжений по корпусу диска (рис. 2). Как видно из рис. 2, численные значения тангенциальных напряжений значительно превосходят радиальные, т.е. диск имеет запас прочности на промышленных частотах вращения.

Установлено, что действующая величина напряжений в диске

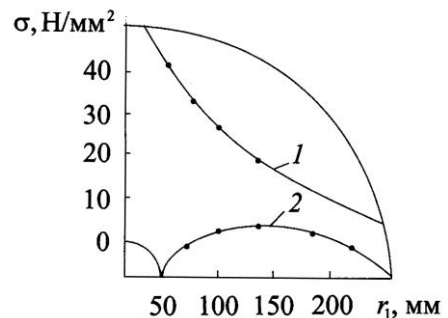
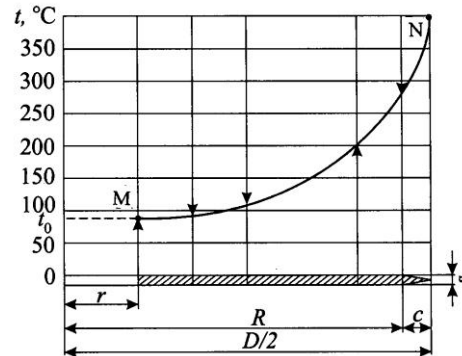


Рис. 2. Распределение напряжений по корпусу диска наружным радиусом  $r_1$ , который измеряется от посадочного размера 50 мм: 1 – тангенциальное напряжение  $\sigma_\tau$ ; 2 – радиальное напряжение  $\sigma_r$ .

Рис. 3. Температурное поле сплошного режущего диска в нормальных условиях работы



находится в квадратичной зависимости от угловой скорости вращения. Поэтому на больших частотах предпочтительно использовать режущий диск меньшего диаметра. В процессе бесстружечного деления древесины мягких пород дисками, используемыми вместо круглых пил, основная энергия затрачивается на преодоление сил трения, возникающих на боковых поверхностях дисков. Специфика работы диска определяется величиной температурного перепада между режущими элементами и центральной зоной диска.

При внедрении безотходной и высокоперспективной технологии резания реальная задача конструкторов – выбор способов и средств уменьшения данного температурного перепада. В нормальных условиях работы диска его температурное поле представлено на рис. 3 (получено на основе экспериментальных исследований). С достаточной степенью точности изменение температурного поля диска можно описать зависимостью

$$t = \Delta t \left( \frac{D}{2R} \right)^n + t_0, \quad (23)$$

где  $\Delta t = t_r - t_0$ ;

$t_r$  – температура на окружности резания;

$t_0$  – температура диска у посадочного отверстия.

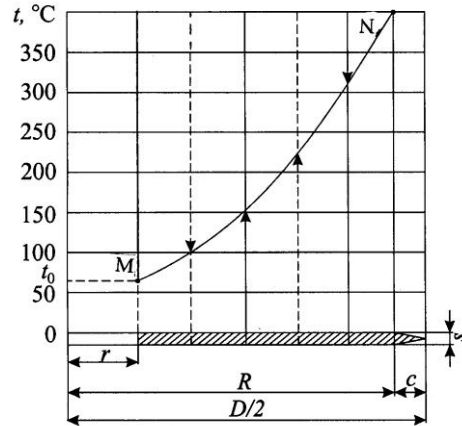
Расчет напряжения проводим по известным формулам [1]:

$$\sigma_0 = E \left( -\frac{1}{R^2} \int_0^R \alpha t dr + \frac{R^2 - d^2}{R^2 (R^2 - d^2)} \int_0^R \alpha t dr \right); \quad (24)$$

$$\sigma_k = E \left( -\alpha t + \frac{1}{R^2} \int_0^R \alpha t dr + \frac{R^2 + d^2}{R^2 (R^2 - d^2)} \int_0^R \alpha t dr \right). \quad (25)$$

Здесь  $E$  – модуль упругости материала диска;  
 $R$  – радиус наружной окружности диска;  
 $t$  – текущая температура диска;  
 $d$  – диаметр посадочного отверстия.

Рис. 4. Температурное поле трения диска о древесину



Температурное поле трения диска представлено на рис. 4. Длина участка MN пропорциональна толщине разделяемого материала. Кривую на рис. 4 аналитически можно выразить уравнением параболы. Проведем расчет напряжений по окружности резания:

$$\sigma = E \left( -\frac{1}{R^2} \int_0^R \alpha t dr + \frac{C_1}{1-\mu} - \frac{C_2}{R^2(1-\mu)} \right), \quad (26)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные интегрирования, которые определяют для следующих граничных условий:  $\sigma_r = 0$ ;  $\sigma_N = \sigma_{max}$ .

$\sigma_r$  – напряжения, возникающие в кольце, близком к контуру, при нагреве диска;

$\sigma_{max}$  – температурные напряжения в режущей части диска.

С учетом граничных условий имеем

$$C_1 = \frac{1-\mu}{R^2-r^2} \int_r^R \alpha t R dr - \frac{\sigma_{max} r^2 (1-\mu)}{E(R^2-r^2)}; \quad (27)$$

$$C_2 = \frac{r^2(1-\mu)}{R^2-r^2} \int_r^R \alpha t R dr - \frac{\sigma_{max} r^2 R^2 (1+\mu)}{E(R^2-r^2)}. \quad (28)$$

Подставляя граничные условия в уравнение (28), можно рассчитать напряжение  $\sigma$  по окружности резания:

$$\sigma = E \left( -\frac{1}{R^2} \int_0^R \alpha t dr + \frac{R^2-r^2}{R^2(R^2-r^2)} \int_r^R \alpha t dr + \frac{\sigma_{max} r^2}{E r^2} \right). \quad (29)$$

В данном уравнении единственной неизвестной величиной является  $\sigma_{max}$ , которую можно рассчитать с использованием ЭВМ, используя понятие жесткости:

$$i_n = \frac{\sigma_{max}}{T}, \quad (30)$$

где  $i_n$  – жесткость наружной части диска;

$T$  – температурное расширение наружной части диска.

Тогда

$$\sigma_{\max} = \frac{T - \Pi}{\frac{1}{i_b} - \frac{1}{i_n}}, \quad (31)$$

где  $\Pi$  – тепловое расширение внутренней части диска;

$i_b$  – жесткость внутренней части диска.

Расчет температурных напряжений в режущих дисках двумя способами (через напряжение и через экспериментально найденные величины жесткости) указывает на достаточную степень точности предложенной методики и позволяет использовать полученные зависимости для анализа и конструирования как самих режущих дисков в целом, так и их отдельных элементов (режущие кромки, технологические отверстия, термокомпенсационные отверстия, виброгасящие устройства) [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев, Н.М.* Сопротивление материалов [Текст] / Н.М. Беляев. – М.: Наука, 1975. – 600 с.
2. *Ивановский, В.П.* Бесстружечное резание древесины мягких пород [Текст] / В.П. Ивановский. – Воронеж: ВГУ, 2003. – 168 с.
3. Краткий справочник металлиста [Текст]. – М.: Машиностроение, 1987. – 960 с.
4. *Свиридов, Л.Т.* Качество дереворежущих инструментов [Текст] / Л.Т. Свиридов, В.П. Ивановский // Дизайн и производство мебели. – 2005. – № 1(6). – С. 44–51.
5. *Стахийев, Ю.М.* Устойчивость и колебания плоских круглых пил [Текст] / Ю.М. Стахийев. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 296 с.

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 17.06.05

*V.P. Ivanovsky*

#### **Stress State of Woodcutting Disc**

It is established that it is preferable to use woodcutting disc with minimal diameter with growing speed.

УДК 630\*945.4

**А.С. Торопов, Е.С. Шарапов**

Торопов Александр Степанович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой деревообрабатывающих производств Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки Республики Марий Эл. Имеет более 150 печатных работ в области интенсификации процессов распиловки, энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий обработки и переработки лесоматериалов.



Шарапов Евгений Сергеевич родился в 1980 г., окончил в 2002 г. Марийский государственный технический университет, аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского государственного технологического университета. Имеет более 10 печатных работ в области комплексного использования низкокачественной древесины.



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ, ПОРАЖЕННОЙ СЕРДЦЕВИННОЙ ГНИЛЬЮ**

Разработана методика экспериментальных исследований плотности древесины березы, пораженной сердцевинной гнилью.

*Ключевые слова:* плотность древесины, kern, способ раскря, аллометрический метод исследований, сердцевинная гниль.

Существующие приоритетные направления использования низкокачественной древесины, пораженной сердцевинной гнилью, не позволяют рационально применять в производстве ее здоровую заболонную часть. Поэтому необходимы специализированные технологии по переработке древесины, пораженной сердцевинной гнилью.

Одно из перспективных направлений – внедрение технологий производства однородной продукции, разработанных на кафедре деревообрабатывающих производств Марийского государственного технического университета. Здесь с использованием морфологического метода исследований ведется постоянный поиск новых способов раскря низкокачественной древесины. Применение их в производственных условиях невозможно без изучения свойств заболонной древесины и древесины, непосредственно прилегающей к пораженному слою.

Основными разрушающими сердцевину березы гнилями являются *Phellinus igniarius* (Fr.) и *Inonotus obliquus* (Fr.) [1, 7].

Механические свойства древесины в развитых гнилях всех типов сильно изменены, поэтому плотность такой древесины не является надежным показателем прочности. Она непригодна для применения в случаях, когда на нее воздействуют нагрузки. Пестрая и белая гнили в развитых ста-

дях заметно уменьшают плотность древесины, поэтому она кажется очень легкой. Однако на начальной стадии распространения белой коррозионной гнили механические свойства древесины изменяются мало [1, 4, 7].

В эксперименте использовали древесину березы, имеющую постепенно уменьшающуюся в развитии от оси лесоматериала белую коррозионную сердцевинную гниль, вызванную лигнинразрушающими грибами.

Можно предположить, что по мере разрушения древесины сердцевинной гнилью нагрузки, обусловленные весом дерева, а также ветровые нагрузки перераспределяются на заболонь и части древесины с начальной стадией гниения, прилегающие к заболони. Это приводит к повышению плотности древесины на данных участках лесоматериала.

Цель наших исследований – выявление и анализ влияния сердцевинной гнили на здоровые заболонные и прилегающие к гнили участки.

Материал по определению физических и механических свойств древесины разных пород и гнили [1, 4, 6, 7 и др.] позволил выбрать наиболее рациональный способ исследования – стереометрический с использованием кернов [2, 9]. Применение его позволило проанализировать изменение плотности низкокачественной древесины (по радиусу, от сердцевины к периферии).

Для исследований плотности древесины березы, произрастающей в учебно-опытном лесхозе МарГТУ, с деревьев, пораженных сердцевинной гнилью, отбирали строго радиальные керны по радиусу ствола на высоте 1,3 м. Керны приводили в комнатно-сухое состояние.

На первом этапе керны делили с помощью лезвия ножа на две части по границе пораженного слоя. Из этих частей выделяли отрезки длиной 7 ... 12 мм. Их нумеровали (от 1 до 3) в порядке удаления от пограничного

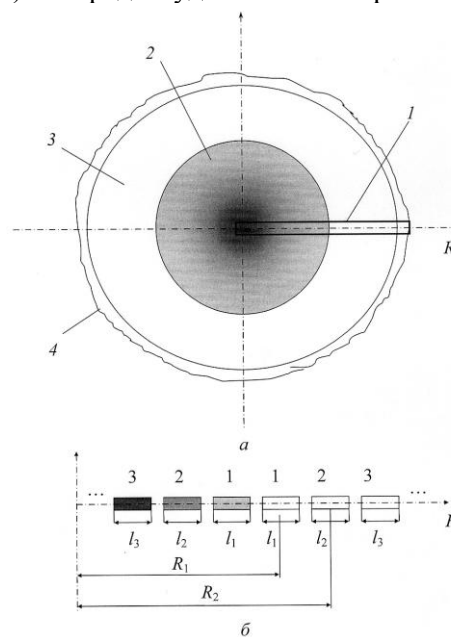


Рис. 1. Схемы расположения керна в стволе дерева (а) и разрезания керна на образцы (б): 1 – kern, 2 – гнилая древесина, 3 – заболонь, 4 – кора

слоя (рис. 1) [2]. Плотность ( $\text{кг/м}^3$ ) полученных образцов

$$\rho = m/V,$$

а с учетом объема керна:

$$\rho = m/(\pi \bar{d}^2 l),$$

где  $m$  – масса образца, кг;

$V$  – объем образца,  $\text{м}^3$ ;

$\pi = 3,14$ ;

$\bar{d}$  – средний диаметр керна, м;

$l$  – длина образца, м.

Экспериментальные данные для древесины березы, пораженной сердцевинной гнилью, заносили в таблицу.

Наиболее целесообразна и унифицирована модель, структура которой основана на естественном законе изменения параметров, в частности на законе относительного (аллометрического) роста [3].

Аллометрический метод является частным случаем регрессионного анализа при использовании уравнения относительного роста в качестве выравнивающей функции:

$$Y = C + aX^B,$$

где  $Y, X$  – переменные факторы;

$a$  и  $C$  – константы начального состояния;

$B$  – константа равновесия, передающая темп изменения  $Y$  относительно  $X$ .

Для нашего случая изменение плотности древесины по радиусу в соответствии с аллометрическим законом изменения параметров:

$$\rho = \rho_0 \pm aL^b, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность древесины,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_0$  – начальная плотность исследуемого участка керна,  $\text{кг/м}^3$ ;

$a, b$  – константы начального состояния и равновесия;

$L$  – расстояние по радиусу от оси исследуемого образца, м.

На наш взгляд, данная модель не позволяет адекватно охарактеризовать изменение плотности древесины, пораженной сердцевинной гнилью.

Порядковый номер образца	$R$ , мм	$m$ , г	$\rho$ , $\text{кг/м}^3$	Порядковый номер образца	$R$ , мм	$m$ , г	$\rho$ , $\text{кг/м}^3$
1	173,50	0,0650	501,3986	8	103,95	0,0718	480,0056
2	164,33	0,0731	505,5481	9	93,35	0,0752	493,3387
3	154,38	0,0702	505,4098	10	83,05	0,0726	514,7692
4	144,90	0,0662	505,1046	11	73,30	0,0657	480,4025
5	135,50	0,0667	487,7146	12	63,30	0,0650	438,7238
6	125,15	0,0765	483,7819	13	53,70	0,0526	419,5795
7	114,40	0,0700	472,4717				

Примечание.  $R$  – радиус ствола;  $m$  – масса образца.



Для повышения ее точности можно использовать кусочную аллометрию [8], т. е. составить уравнение (1) для характерных участков. Применительно к данным исследованиям необходимо раздельное описание математическими моделями здоровых участков древесины и участков, пораженных сердцевинной гнилью:

$$\begin{cases} \rho_{\text{п}} = \rho_{0\text{п}} \pm a_{\text{п}} L_{\text{п}}^{b_{\text{п}}}; \\ \rho_{\text{з}} = \rho_{0\text{з}} \pm a_{\text{з}} L_{\text{з}}^{b_{\text{з}}}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{з}}$  – соответственно плотность пораженной гнилью и здоровой частей керна, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{0\text{п}}, \rho_{0\text{з}}$  – соответственно начальная плотность пораженной гнилью и здоровой частей исследуемого участка керна, кг/м<sup>3</sup>;

$a_{\text{п}}, a_{\text{з}}, b_{\text{п}}, b_{\text{з}}$  – соответственно константы начального состояния ( $a$ ) и равновесия ( $b$ ) пораженной гнилью и здоровой частей керна;

$L_{\text{п}}, L_{\text{з}}$  – расстояние по радиусу от оси исследуемого образца, пораженного гнилью, и здоровой его части, м.

Согласно (1) и (2), для участков здоровой древесины и участков, пораженных сердцевинной гнилью, имеем

$$a = (1/\psi)^b (\rho' - \rho_0); \quad b = \ln(\rho'' - \rho_0) / (\rho' - \rho_0) / \ln[(\psi + f)/\psi],$$

где  $\rho', \rho''$  – соответственно плотность древесины в двух местах замера по длине керна, кг/м<sup>3</sup>;

$\psi, f$  – соответственно абсцисса места первого замера и расстояние между замерами плотности керна, м.

Согласно уравнению (1), исследуемая функция зависит от нескольких случайных аргументов. Математическое ожидание функции от произвольного числа случайных аргументов  $f(X_1, \dots, X_n)$ :

$$M \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x_1, \dots, x_n) f(x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n; \quad (3)$$

дисперсия:

$$D \int_{-\infty}^{+\infty} [\varphi(x_1, \dots, x_n) - m_{\varphi}]^2 f(x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n, \quad (4)$$

где  $\varphi(x_1, \dots, x_n)$  – функция случайных элементов;

$f(x_1, \dots, x_n)$  – многомерная плотность распределения величин  $X_1, \dots, X_n$ .

Бесспорно, в общем случае найти  $M$  и  $D$  довольно сложно. Для этого чаще всего используют метод статистической линеаризации, основанный на разложении функции в ряд Тейлора в точке  $X_i = m_{x_i}$ , т. е. в окрестности математического ожидания  $X$ . При этом формула для определения математического ожидания имеет следующий вид:

$$M(x_{\langle n \rangle}) = \varphi(x_1, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\delta \varphi(x_{\langle n \rangle})}{\delta x_{\langle n \rangle}} M(x_i - m_{x_i}) + \dots \quad (5)$$

Если  $X_1, \dots, X_n$  – независимые случайные величины, то

$$M(x_{\langle n \rangle}) = \varphi(x_1, \dots, x_n) + \frac{1}{2} \sum \frac{\delta^2 \varphi(x_{\langle n \rangle})}{\delta x^2_{\langle n \rangle}} \Big|_{x = m_x} D(x_{\langle n \rangle}), \quad (6)$$

где  $D(x_{\langle n \rangle})$  – дисперсия в точке  $X = m_x$ .

Обычно отбрасывают и второй член равенства (6), тогда

$$M(x_{\langle n \rangle}) \approx \varphi(m_{x_1}, \dots, m_{x_n}). \quad (7)$$

Таким образом, выражение (1) будет иметь вид

$$m_\rho = m_{\rho_0} + m_a L^{m_b}, \quad (8)$$

где  $m_{\rho_0}, m_a, m_b$  – соответственно, математическое ожидание случайных величин  $\rho_0, a, b$ .

При этом

$$m_a = \left( \frac{1}{m_\psi} \right)^{m_b} m_{\rho'} m_{\rho_0}^{m_b};$$

$$m_b = \ln \frac{m_{\rho'} - m_{\rho_0}}{m_{\rho'} - m_{\rho_0} + m_f} \ln \frac{m_{\rho'} - m_{\rho_0}}{m_\psi + m_f} m_\psi, \quad (9)$$

где  $m_\psi, m_{\rho'}, m_{\rho_0}, m_f$  – соответственно математическое ожидание случайных величин  $\psi, \rho', \rho''$  и  $f$ .

Дисперсия

$$D(x_{\langle n \rangle}) \approx \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\delta \varphi(x_{\langle n \rangle})}{\delta x_i} \Big|_{x = m_x} \right]^2 D_{x_i}. \quad (10)$$

Следовательно, для получения дисперсии  $D(\rho)$  необходимо продифференцировать (2) по  $\rho_0, \rho', \rho'', \psi$ , и  $f$ :

$$\frac{\delta \rho}{\delta \rho_0} = 1 - \frac{1}{\psi} + \frac{1}{\psi} \frac{\rho' - \rho''}{\rho'' - \rho_0} \ln \frac{L}{\psi + f};$$

$$\frac{\delta \rho}{\delta \rho'} = \frac{1}{\psi} - \frac{1}{\psi} \frac{1}{\ln \frac{L}{\psi + f}} \ln \frac{L}{\psi};$$

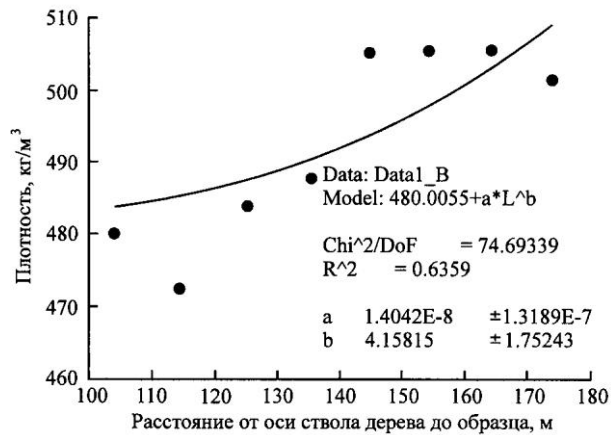
$$\frac{\delta \rho}{\delta \rho''} = \frac{1}{\psi} \frac{\rho' - \rho_0}{\rho'' - \rho_0} \ln \frac{L}{\psi + f};$$

$$\frac{\delta \rho}{\delta \psi} = - \frac{1}{\psi} \frac{f(\rho' - \rho_0) \ln \frac{\rho'' - \rho_0}{\rho' - \rho_0}}{\psi(\psi + f) \ln \frac{L}{\psi + f}} \times$$

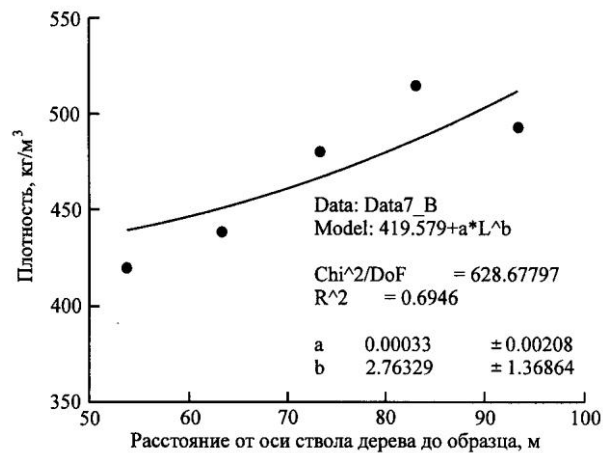
$$\times \ln \frac{L}{\psi} (\rho' - \rho_0) b \frac{1}{\psi} (1 + \psi^2);$$

$$\frac{\delta \rho}{\delta f} = - \frac{1}{\psi} \frac{f(\rho' - \rho_0) \ln \frac{\rho'' - \rho_0}{\rho' - \rho_0}}{(\psi + f) \ln \frac{L}{\psi + f}} \ln \frac{L}{\psi}.$$

Далее, подставив их математические ожидания и дисперсии  $m_{\rho_0}, m_{\rho'}, m_{\rho''}, m_\psi, m_f, D_{\rho_0}, D_{\rho'}, D_{\rho''}, D_\psi, D_f$ , вычислим  $D(\rho)$ . С использо-



a



б

Рис. 2. Величины и кривые изменения плотности заболони древесины березы, пораженной сердцевинной гнилью (а), и пораженной гнилью части древесины березы (б)

ванием математических положений (1)–(11) разработана программа ALLOMPR, позволяющая исследовать предмет труда аллометрическим методом.

Обработку данных, полученных в результате экспериментальных исследований, проводили в среде Origin 6.1 и ALLOMPR (рис. 2).

Уравнение изменения плотности здоровой заболонной части древесины березы:

$$\rho = 480,0055 + 1,4042E - 8L^{4,15815}. \quad (12)$$

Максимальное отклонение теоретических данных (12) от фактических составляет 2,67 %.

Уравнение изменения плотности пораженной гнилью части древесины березы:

$$\rho = 419,5790 + 0,3300E - 3L^{2,76329}. \quad (13)$$

Максимальное отклонение теоретических данных (13) от фактических составляет 5,49 %.

Адекватность математических моделей (12), (13) доказана при условии однородности дисперсий и воспроизводимости [5].

#### Выводы

1. В древесине, пораженной сердцевинной гнилью, заболонь, не пораженная дереворазрушающим грибом и имеющая цвет здоровой древесины, не снижает своей плотности по сравнению с плотностью древесины, не пораженной сердцевинной гнилью.

2. Плотность древесины, прилегающей к заболони и имеющей светло-коричневый цвет (начальные стадии поражения дереворазрушающим грибом), выше, чем у заболонной древесины.

3. Плотность древесины темно-коричневого цвета резко снижается по мере приближения к оси лесоматериала (при достижении конечной стадии разрушения древесины).

4. Разделение низкокачественной древесины в соответствии с четырьмя стадиями процесса гниения [1] необходимо для возможного последующего применения древесины, имеющей поражения дереворазрушающими грибами на ранних стадиях.

5. На данном этапе исследований подтверждено предположение о повышении плотности прилегающих к гнили участков древесины, которое вызвано перераспределением весовых и ветровых нагрузок дерева по мере развития сердцевинной гнили.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакин, Т.В. Пороки древесины [Текст] / Т.В. Вакин, О.И. Полубояринов, В.А. Соловьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 111 с.
2. Колесникова, А.А. Исследование свойств древесины по кернам [Текст] / А.А. Колесникова. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 178 с.
3. Кузьмичев, В.В. Закономерности роста древостоев [Текст] / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.
4. Перельгин, Л.М. Влияние пороков на технические древесины [Текст] / Л.М. Перельгин. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. – 155 с.
5. Пижурин, А.А. Исследование процессов деревообработки [Текст] / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 104 с.
6. Полубояринов, О.И. Плотность древесины [Текст] / О.И. Полубояринов. – Л.: ЛТА, 1973. – 76 с.
7. Рипачек, В. Биология дереворазрушающих грибов [Текст] / В. Рипачек. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 274 с.
8. Семечкина, М.Г. Структура фитомассы сосняков [Текст] / М.Г. Семечкина. – Новосибирск: Наука, 1978. – 165 с.

---

9. Уголев, Б.Н. О неразрушающих испытаниях древесины [Текст] / Б.Н. Уголев, В.Д. Никишев // Деревообраб. пром-сть. – 1966. – № 7. – С. 15–17.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 29.04.05

*A.S. Toropov, E.S. Sharapov*

**Study of Birch Wood Density Affected by Firm Red Heart**

The technique for experimental research of birch wood density affected by firm red heart is developed.

---

УДК 647.048

**Н.В. Вилейшикова, В.Б. Снопков, Н.А. Беясова**

Вилейшикова Наталья Владимировна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Белорусский технологический институт, после аспирантуры работает в Белорусском государственном технологическом университете. Имеет около 10 печатных трудов в области гидротермической обработки и защиты древесины.



Снопков Василий Борисович родился в 1952 г., окончил в 1974 г. Белорусский технологический институт, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии клееных материалов и плит Белорусского государственного технологического университета. Имеет более 130 печатных работ в области технологии древесных плит и пластика, гидротермической обработки и защиты древесины.



Беясова Наталья Александровна родилась в 1954 г., окончила в 1976 г. Белорусский технологический институт, кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии и биоэкологии Белорусского государственного технологического университета. Имеет около 70 печатных трудов в области биохимии, микробиологии и молекулярной биологии.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ ОТ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДРЕВЕСИНЫ ГРИБАМИ**

В процессе сравнения нового экспресс-метода оценки эффективности защитных средств для древесины с действующим стандартом Республики Беларусь установлена тесная корреляция; показано, что экспресс-метод обладает лучшими статистическими характеристиками и позволяет проводить испытания в более короткие сроки.

*Ключевые слова:* древесина, дереворазрушающие грибы, средства защиты, оценка эффективности, метод испытаний.

В лаборатории огнезащиты строительных материалов и конструкций Белорусского государственного технологического университета был разработан новый экспресс-метод для испытания эффективности средств защиты древесины от поражения грибами [1]. В отличие от стандартных методов [2, 4], где критерием оценки степени защищенности древесины является снижение массы пропитанного образца при его выдерживании на чистой культуре гриба (так называемый «весовой» метод), в новом методе оценивается скорость разрастания мицелия гриба по пропитанному образцу. Это значительно сокращает продолжительность испытания в связи с тем, что

скорость прироста биомассы грибной культуры во много раз превосходит скорость разрушения древесины. Существует прямая зависимость между скоростью роста колонии гриба и интенсивностью разрушения образца, так как разрастание гриба по образцу зависит от количества потребляемых им питательных веществ.

Для сравнения нового [1] и стандартного [2] методов был поставлен эксперимент, в котором двумя способами оценивали токсичность хорошо известного защитного средства ХМ-11 [3]. В стандартном методе применяли образцы древесины сосны размером  $20 \times 20 \times 5$  мм, в экспресс-методе – образцы соснового и березового шпона размером  $60 \times 60 \times 1,6$  мм. Образцы пропитывали антисептиком в растворах ХМ-11 пяти различных концентраций.

По окончании эксперимента результаты испытания по стандартному методу были приведены к виду, полученному в экспресс-методе:

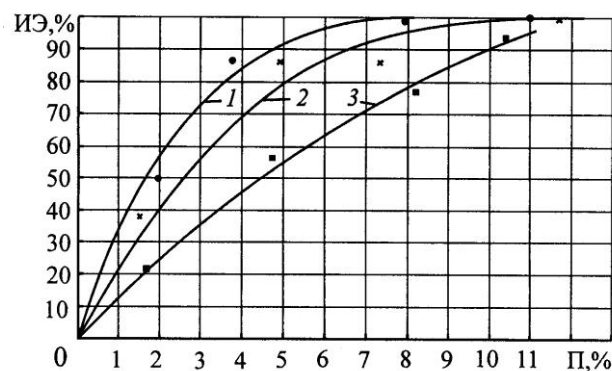
$$\text{ИЭ} = \frac{D_0 - D_i}{D_0} \cdot 100 \%,$$

где ИЭ – ингибирующий эффект, %;

$D_0$  и  $D_i$  – средняя относительная потеря массы непропитанного и пропитанного образцов, %.

Анализ графических зависимостей ИЭ защитного средства от величины поглощения (П) показал, что разработанный нами метод и стандартный метод дают сопоставимые изменения величины ИЭ при изменении поглощения защитного средства (см. рисунок).

Стандартный метод обладает высокой чувствительностью в диапазоне поглощения защитного средства 0 ... 6 % (кривая 2), где увеличение поглощения на 1 % вызывает изменение ингибирующего эффекта на



Зависимость ингибирующего эффекта (ИЭ) защитного средства от поглощения (П) при испытании стандартным (2) и экспресс-методом (1, 3) образцов сосны (2), шпона сосны (1) и березы (3)

10 ... 20 %. При поглощении более 6 % защитного средства ингибирующий эффект увеличивается в пределах ошибки эксперимента. Примерно такие же

изменения отмечены при использовании экспресс-метода на шпоне сосны (кривая 1). Порог чувствительности в этом случае немного ниже – 5 %.

Несколько иной результат получен для образцов березового шпона (кривая 3). При одинаковых поглощениях антисептика значения ИЭ в этом случае ниже, чем на сосновом шпоне. Это объясняется тем, что древесина березы более подвержена действию дереворазрушающего гриба *Coniophora puteana*, чем древесина сосны, и для достижения одинакового подавляющего эффекта требуется больший расход антисептика. Кроме того, графическая зависимость (кривая 3) имеет характер, близкий к линейному. В результате достигается одинаково хорошая чувствительность метода в более широком диапазоне поглощения защитного средства (0 ... 11 %).

Коэффициент корреляции между данными стандартного метода и экспресс-метода при использовании шпона сосны составил 0,985, шпона березы – 0,961. Это свидетельствует о том, что зависимость потери массы образца после 2 мес. выдерживания в контакте с культурой гриба от ширины разрастания колонии гриба за первые 6 дней близка к линейной.

Статистический расчет показал, что относительное стандартное отклонение величины ИЭ, определенного стандартным методом, в пределах одного поглощения защитного средства возрастает от 19,4 % для непропитанных образцов до 64,0 % для образцов, обработанных защитным средством. Относительное стандартное отклонение ИЭ в экспресс-методе при использовании шпона сосны колеблется в диапазоне 4,4 ... 10,8 %, шпона березы – 4,0 ... 9,9 %.

Таким образом, чтобы получить ошибку определения ИЭ в пределах 10 % с доверительной вероятностью 0,95, требуемое число параллельных измерений в стандартном методе должно составлять не менее 20 (хотя в методике указано 9) и резко увеличиваться с ростом количества поглощенного

6

Операция	Продолжительность испытаний, сут	
	ГОСТ 16712-95	Экспресс-метод
Подготовка к проведению испытаний (отбор и просеивание земли, изготовление полуфидеров, двукратное автоклавирование банок)	3,0	–
Подготовка инокулятов	14,0	6,0
Прорастание почвы в банках	14,0...16,0	–
Подготовка чашек Петри со средой Чапек	–	1,0
Изготовление и пропитка образцов	0,5	0,5
Прочие работы	0,5	0,5
Собственно испытание	60,0	4...6
Обработка результатов	1,0	1,0
<i>Всего</i>	94,0...96,0	13,0...15,0

антисептика. Число параллельных измерений в экспресс-методе значительно меньше: 10 – при использовании соснового шпона, 7 – березового.



Сравнение затрат времени (см. таблицу), необходимого для проведения испытаний двумя методами, свидетельствует в пользу экспресс-метода.

На основании проведенных исследований установлена корреляция результатов, полученных с помощью разработанного экспресс-метода и стандартного метода (ГОСТ 16712–95) испытаний защитных средств для древесины; показано, что экспресс-метод обладает лучшими статистическими характеристиками по сравнению со стандартным и требует меньше времени на проведение испытаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилейшикова, Н.В. Экспресс-метод испытания защитных средств для древесины [Текст] / Н.В. Вилейшикова, В.Б. Снопков, Н.А. Белясова // Лесн. журн. – 2004. – № 5. – С. 77–82. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. ГОСТ 16712–95. Средства защитные для древесины. Метод испытания токсичности [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1995.
3. ГОСТ 23787.8–80. Средства защитные для древесины. Растворы антисептического препарата ХМ-11. Технические требования [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
4. ГОСТ 28184–89 (СТ СЭВ 6471–88). Средства защитные для древесины. Метод определения предела воздействия на дереворазрушающие грибы класса базидиомицетов [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989.

Белорусский государственный  
технологический университет

Поступила 20.11.03

*N.V. Vileyshikova, V.B. Snopkov, N.A. Belyasova*  
**Comparative Assessment of Protective Agents against  
Wood Damage by Fungi**

Close correlation has been established when comparing the new express-method of efficiency assessment for wood with current standard of the Republic of Belorussia; the express-method is shown to possess better statistical characteristics and allows to carry out trials in shorter period.

---

УДК 674.093

*Л.С. Суровцева*

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



### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ПРИЕМКИ И УЧЕТА ДРЕВЕСИНЫ НА ЛЕСОПИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Установлено, что автоматические сортировочные устройства для бревен можно одновременно использовать для приемки и учета объема древесины.

*Ключевые слова:* учет, приемка, круглые сортименты, бревна, автоматическое сортировочное устройство, объем, поштучная приемка, ручная приемка.

Все лесопильно-деревообрабатывающие предприятия производят предварительную и окончательную приемку поступающей древесины. При доставке ее железнодорожным и автомобильным транспортом весь объем бревен предварительно принимают геометрическим методом. Часть древесины (от 5 до 30 %) принимают поштучно. При поставке древесины сплавом визуальным осматривают все поступающие пучки в плотках (предварительная приемка) и не более 5 % древесины окончательно принимают поштучно [2].

В настоящее время операциям учета и приемки древесины уделяется особое внимание, так как правильное определение фактического объема и качества древесины оказывает существенное влияние на работу и технико-экономические показатели предприятия в целом.

Лесопильно-деревообрабатывающие предприятия с учетом своих технологических возможностей стараются переходить на 100 %-ую окончательную приемку всего поступившего сырья. Однако это связано с увеличением трудозатрат при поштучной приемке древесины и стоимости производства пилопродукции, а также сдерживает технологический процесс распиловки бревен, окончательную обработку и подготовку пилопродукции к отгрузке.

Цель данной работы – исследовать методы учета круглых сортиментов, позволяющие перейти на их 100 %-ую приемку.

Известно, что на определение фактического объема древесины оказывают влияние множество факторов. Основными технологическими факторами являются форма, фактический диаметр и длина бревна, его местоположение в хлысте, район произрастания, допускаемые припуски по длине

(0,03 ... 0,05 м), наличие окорки, толщина коры, модель измерителя бревен, метод обмера.

На предприятиях, где установлены автоматические сортировочные устройства, можно их одновременно использовать и для окончательной поштучной приемки всего поступающего сырья. В связи с этим на предприятиях г. Архангельска были проведены исследования по учету круглых сортиментов традиционным поштучным ручным методом и с использованием автоматических измерительных устройств, установленных на сортировочных линиях для бревен [4].

В процессе эксперимента каждое бревно (порода – сосна и ель) сначала обмеряли вручную в соответствии с ГОСТ 9463–88 и ОСТ 13-303–92 [3, 5]. При этом фиксировали: длину  $L$ , диаметр в вершинном торце с учетом коры  $d_v$  и без коры  $d_v^1$ , толщину коры  $a_k$ , диаметр в середине бревна  $d_{ср}$ . Затем эти же бревна направляли в сортировочные устройства, оснащенные автоматическим измерителем «Вектор», пропуская один раз с включенным на позицию «с корой» селекторным переключателем, потом «без коры». При этом измеряли длину  $L$ , вершинный  $d_v$  и срединный  $d_{ср}$  диаметры бревна.

Точность измерения длины составляла  $\pm 0,01$  м, диаметра –  $\pm 0,1$  см. Результаты измерений длины округляли до 0,1 м, диаметра – до 1 см. Критерием выхода в исследуемом процессе является объем бревна  $Q_{бр}$ , его определяли по ГОСТ 2708–75 [1]. Результаты определения объема каждого бревна округляли до 0,001 м<sup>3</sup>.

Все фактически замеренные длины и диаметры вершинного торца бревна при поштучном обмере вручную (с корой и без коры) и на автоматической сортировочной линии приводили к стандартным значениям. Статистическая обработка фактических размеров бревен показала, что результаты достоверны, так как показатель точности  $P$  составил менее 5 %.

Данные замеров вершинного диаметра и длин бревен при различных методах обмера приведены на рис. 1, 2.

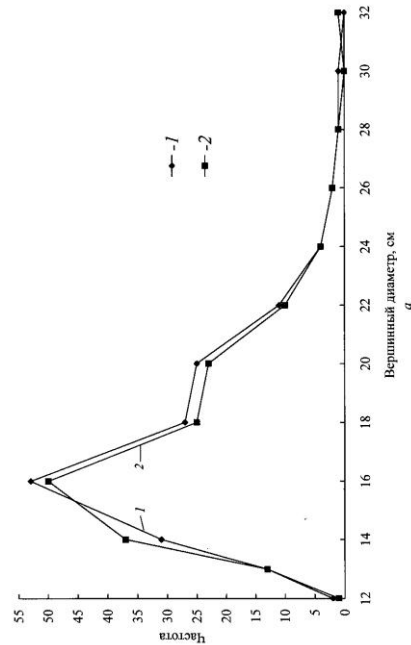
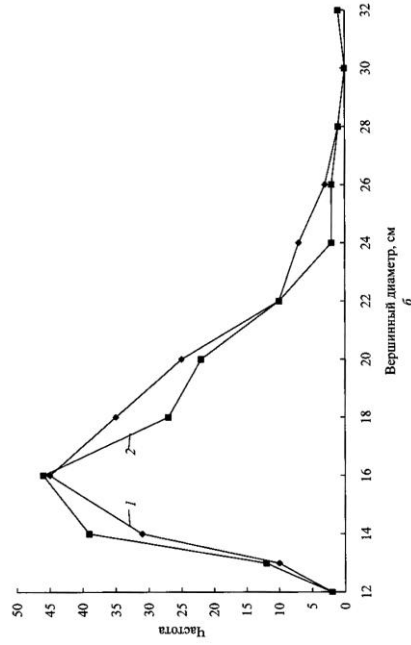
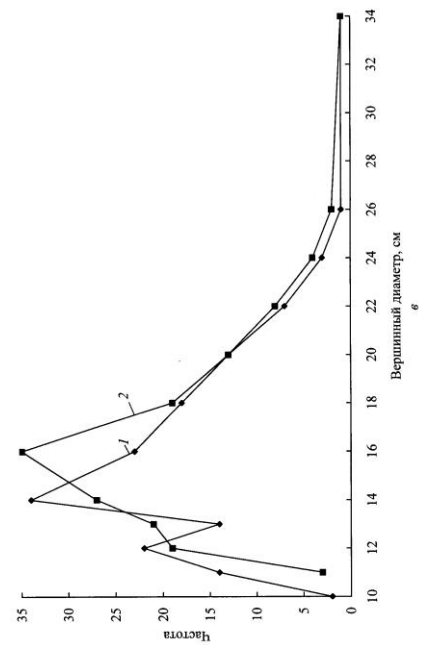
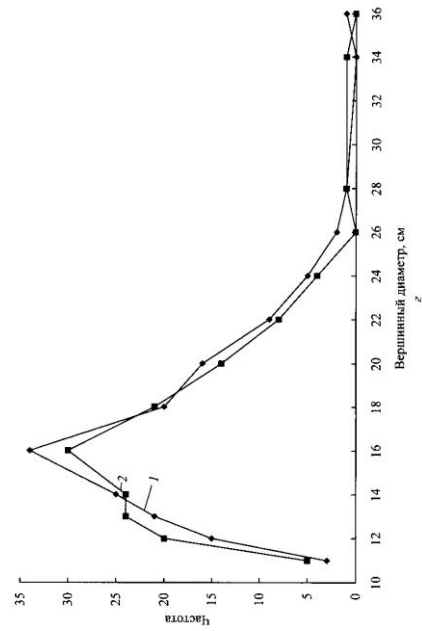


Рис. 1. Распределение вершинного диаметра бревен при различных методах обмера:  
 а, б — сосна; в, г — ель; а, в — без учета коры; б, г — с учетом коры; 1 — поштучно; 2 — автома-



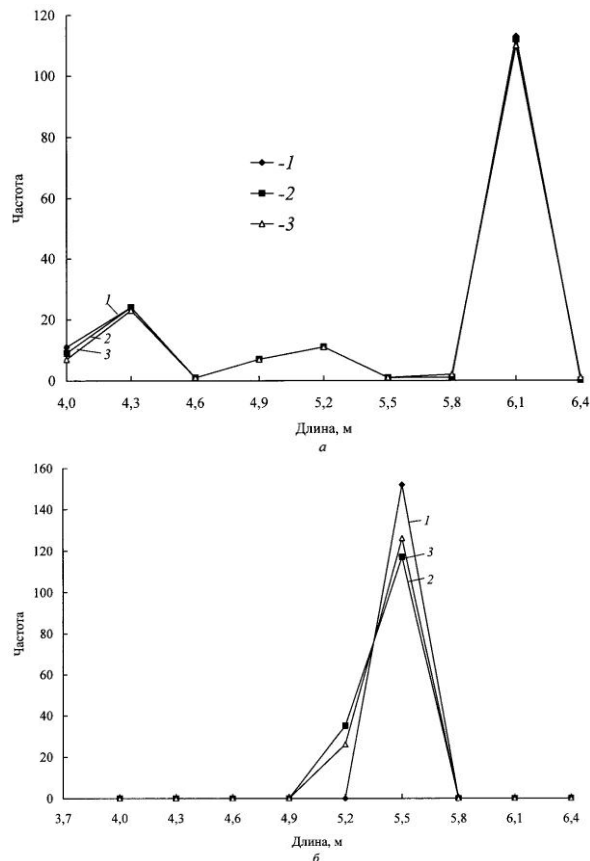


Рис. 2. Распределение длины бревен при различных методах обмера: *а* – сосна, *б* – ель; *1* – поштучно, *2*, *3* – автоматически; *1*, *2* – без учета коры, *3* – с учетом коры

Экспериментальные исследования показали:

1) При автоматическом обмере сосновых бревен средний диаметр в вершинном торце, измеренный с корой и без коры, не меняется. При поштучном ручном методе вершинный диаметр без коры на 0,2 см больше, чем с использованием автоматических устройств. Если среднюю длину бревна  $L$  округлить до стандартной, то будет получен одинаковый при всех методах обмера результат – 5,5 м. У бревен, пропущенных через линию, происходит занижение объема по сравнению с ручным методом: без учета коры – на  $7,3 \text{ м}^3$  или 24,6 %, с учетом коры – на  $4,9 \text{ м}^3$  или 16,7 %.

2) При автоматическом обмере еловых бревен средний диаметр в вершинном торце без учета коры на 0,1 см меньше, чем с учетом коры; при ручном обмере средний диаметр с учетом коры на 0,3 см больше, чем при автоматическом обмере без учета коры. В автоматическом обмере при округлении средней длины бревна до стандартной происходит ее укороче-

ние на градацию ( $L = 5,2$  м), при ручном методе этого занижения не отмечено ( $L = 5,5$  м). При автоматическом обмере без учета коры объем бревен занижен на  $0,77 \text{ м}^3$  или  $3,7 \%$  по сравнению с ручным; при обмере с учетом коры наоборот – объем завышен на  $1,44 \text{ м}^3$  или  $6,95 \%$ .

Проведенные исследования показали, что объем лесоматериалов на автоматической линии меньше, чем при поштучном их обмере вручную. Основное влияние на объем бревна оказывают его форма и толщина коры, которые более точно фиксируются при автоматическом измерении. Кроме того, ручной метод является трудоемким. Пропускная способность линии намного больше ручного метода измерения бревен. Ручной обмер и учет древесины снижают эффективность применения новых машин и оборудования. Поэтому использование автоматических устройств для обмера круглых лесоматериалов позволит перейти на  $100 \%$ -ую окончательную приемку древесины, что даст возможность более точно фиксировать объем круглых лесоматериалов для выпуска готовой пилопродукции без снижения производительности всей технологической системы производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2708–75. Лесоматериалы круглые. Таблица объема [Текст]. – Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 36 с.
2. ГОСТ 2292–88. Лесоматериалы круглые. Маркировка, сортировка, транспортирование, методы измерения и приемка [Текст]. – Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 15 с.
3. ГОСТ 9463–88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.01.90. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 13 с.
4. ГОСТ Р52117–2003. Лесоматериалы круглые. Методы измерений [Текст]. – Введ. 01.01.2006. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 18 с.
5. ОСТ 13-303–92. Лесоматериалы круглые. Методы поштучного измерения объема [Текст]. – Введ. 01.01.92. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 18 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 26.04.05

*L.V. Surovtseva*

#### **Perfection of Recording and Acceptance Operations of Timber at Sawmill-woodworking Enterprises**

It is found out that automatic grading systems designed for logs could be used at the same time for wood volume registration.

---

УДК 533.7/536.2

**Ю.С. Алексеев****СУШКА ДРЕВЕСИНЫ В КАМЕРАХ ПАРОВОГО ТИПА**

С позиций статистической физики, теории коррелятивных функций показано, что выведенное ранее уравнение, описывающее твердое аморфное, жидкое и газообразное состояние системы, может быть использовано при расчете межкластерного резонанса с целью ускорить сушку древесины в стандартных сушильных камерах парового типа примерно в 1,5–2 раза.

*Ключевые слова:* кластер, потенциалы, резонанс, сушка, древесина, внедрение.

*Теория вопроса*

Статистическая теория [5–7] рассматривает жидкость как систему из большого числа взаимодействующих частиц или групп частиц (кластеров) и описывает ее свойства набором функций радиального распределения групп частиц. Вероятность нахождения некоторой молекулы жидкости или совокупности частиц жидкости в объеме зависит от того, в какой точке расположена другая частица. Такая вероятностная связь между взаимным расположением молекул количественно характеризуется бинарной функцией распределения. В простейшем случае однородной атомарной жидкости, находящейся в состоянии покоя, бинарная функция зависит только от расстояния и ее называют радиальной функцией распределения  $G(r)$ . Функцию  $G(r)$  определяют из рентгенографических исследований.

В работе [2] развивают статистическую теорию упругих свойств жидкостей. Показано, что упругость жидкостей зависит от скорости деформации. При медленной деформации (например, сушка или пропитка древесины, когда процессы диффузии подчиняются закону Фика) жидкость обладает только объемной упругостью, а модуль сдвига равен нулю. Свойства ее выражают через потенциал межмолекулярного взаимодействия, радиальную функцию распределения и молекулярно-структурные функции.

Наряду со статистической теорией жидкости получили также развитие отдельные приближения: теория свободного объема (Леннард-Джонс, Девоншайр) и дырочная теория (Френкель, Эйринг).

В теории свободного объема занятый молекулами жидкости объем разбивают на ячейки, число которых равно числу молекул. Движение молекул в ячейке рассматривают как движение в усредненном поле взаимодействия со всеми остальными молекулами при предположении, что силы достаточно быстро убывают с увеличением расстояния.

Дырочная теория по своим идеям близка к теории свободного объема. Различие состоит в том, что число ячеек больше числа частиц, вследствие чего в жидкости имеются вакантные ячейки или «дырки». Дырочная теория да-

ет существенно лучшие результаты при рассмотрении неравновесных состояний жидкостей, особенно явлений диффузии и внутреннего трения.

Необходимо отметить, что обе теории выведены из общих принципов статистической механики с использованием некоторых приближений. Модельные теории отличаются наглядностью и простотой при объяснении новых явлений или качественно новых характеристик жидкостей, однако они имеют и ограничения – не дают полного количественного согласования с опытом.

Разрабатываются и геометрические подходы к проблеме жидкого состояния. Здесь структуру жидкости не сводят к ближайшему порядку, а охватывают весь ее объем.

В настоящее время не существует общепризнанной теории. Предпринято большое число попыток создать микроскопические модели. Только в [14] приведены работы 15 авторов.

Ранее было выведено стационарное уравнение, описывающее жидкое, твердое и газообразное состояние одноатомного вещества. Если предположить, что распределение частиц подчиняется условию статистической независимости между координатами атомов и их распределением по скоростям (что легко видно по распределениям Бозе–Эйнштейна или Ферми–Дирака, то будем иметь

$$F_1(r, v) = \rho(r)w(v^2), \quad (1)$$

где  $\rho(r)$  – плотность частиц в точке  $r$ ;  
 $w(v^2)$  – дисперсия скоростей.

По условию стационарности можно сразу перейти к нелинейному интегральному уравнению [3]:

$$kT \ln g(r) = U_0 - \rho_0 \iiint \Phi(|r - r_1|) g(r_1) dr_1, \quad (2)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  
 $T$  – температура жидкости (по Кельвину);  
 $g(r)$  – бинарная коррелятивная функция,  
 $g(r_1)$  – бинарная коррелятивная функция, первая частица (кластер) которой находится в начале координат;  
 $U_0$  – усредненный потенциал сложной системы;  
 $\rho_0$  – средняя плотность системы частиц;  
 $\Phi(|r - r_1|)$  – парная функция взаимодействия двух частиц (кластеров), находящихся в точках  $r$  и  $r_1$ .

Усредненный потенциал системы определяют из выражения

$$U_0 = \iiint \Phi(|r - r_1|) \rho_0 dr_1. \quad (3)$$

Как видно из выражения (3), величина  $U_0$  является константой. Рассуждая как авторы [7] и допуская независимость парной функции от направления в пространстве (аналогично выводу уравнения Боголюбова [1]), проинтегрируем по угловым переменным:



$$kT \ln g(r) = (2\pi/\Omega) \int_0^\infty (1 - g(r_1)) \left\{ \int_{|r-r'|}^{|r+r'|} \Phi(s) s ds \right\} (r'/r) dr' . \quad (4)$$

Здесь  $\Omega$  – средний объем, приходящийся на частицу.

Наибольшую сложность при решении уравнения (4) вызывает потенциал парного взаимодействия  $\Phi$ , поскольку за кластер можно принять произвольный объем: элементарную частицу, электрон, атом, молекулу, группу молекул, произвольное число координационных сфер.

Представляется важной также связь эмпирических констант физической химии при определении химического потенциала (или потенциала Гиббса–Гельмгольца) и теории коррелятивных функций для равновесного случая, являющихся основным математическим аппаратом в статистической физике при описании жидкого и аморфного состояния, поскольку они играют определяющую роль в технологических производственных процессах.

Химический потенциал – важная термодинамическая функция любой сложной системы, находящейся в любой фазе, включающей любые процессы, в том числе и химические реакции. Как известно, химический потенциал чистого вещества равен энергии Гиббса одного моля этого вещества:

$$\mu_i = G_i. \quad (5)$$

Самопроизвольные процессы в химических системах при постоянном давлении и температуре всегда направлены в сторону уменьшения энергии Гиббса  $G$ . Таким образом,  $G$  играет роль, аналогичную потенциальной энергии в обычной механике.

Для идеального газа имеем:

$$d\mu = RT d(\ln p); \quad (6)$$

$$\mu = \mu_0 + RT \ln p, \quad (7)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная,

$\mu_0$  – константа интегрирования, при нормальных условиях берется из стандартных термодинамических таблиц;

$p$  – давление в микромире, представляет собой энергию, приходящуюся на единицу объема  $V$ , взятую с обратным знаком.

Проведем аналогию с коррелятивными функциями 2-го порядка [3], сравнивая (7) и (2). В микромире левая часть (7) при переходе от давления  $p$  к бинарной коррелятивной функции  $g$  изменит знак на противоположный. Из сравнения (7) и (2) получим

$$\mu = kT \ln g(r). \quad (8)$$

Параллельно попытаемся связать коррелятивные функции  $g$  с электронной (атомной) плотностью системы для оценки межчастичных (межкластерных) взаимодействий. Тогда члены, отвечающие за потенциал взаимодействия  $U$ , будут иметь следующий вид:

$$U = V_{ee} + V_{eL} + V_{LL}. \quad (9)$$

Здесь  $V_{ee}$  описывает взаимодействие электронов друг с другом,  $V_{eL}$  – электронов с ядрами,  $V_{LL}$  – ядер между собой. Учитывая самые сильные взаимодействия и классифицируя интегралы в системе интегриродифференциальных уравнений Боголюбова–Борна–Грина [1] (проинтегрировав  $(n - 2)$  раза, где  $n$  – число частиц в системе, соразмерное числу Авогадро), описывающей только стационарное состояние, а также проанализировав свойства бинарной коррелятивной функции, запишем ее явно в атомной системе единиц:

$$kT \ln g(r) = - \sum Z_i / |r - R_i| + \sum Z_i / |R_i| + \\ + [(n - 1)/V] \iiint [g(r_1) - g(r - r_1)] dr_1 / [|r_1| |r - r_1|]. \quad (10)$$

После  $(n - 1)$  интегрирований будем иметь:

$$kT \ln \rho(r) = - \sum Z_i / |r - R_i| + n/V \iiint \rho(r_1) dr_1 / |r - r_1|, \quad (11)$$

где  $g(r)$  и  $\rho(r)$  – бинарная и унарная коррелятивные функции на конце радиуса-вектора  $r$ ;

$Z_i$  и  $R_i$  – заряд и координаты  $i$ -й частицы;

$n$  – среднее число частиц в некотором объеме  $V$  (например, число Авогадро).

Свяжем волновые функции системы  $\Psi$  с вышеприведенными  $s$ -частичными функциями  $F_s$ :

$$g(r_1, r_2) = \int \dots \int \Psi(r_1, r_2, \dots, r_n) \Psi(r_1, r_2, \dots, r_n) dr_3 dr_4, \dots, dr_n; \quad (12)$$

$$\rho(r) = \iiint g(r, r_1) dr_1. \quad (13)$$

Для расчета потенциала межчастичного (межкластерного) взаимодействия можно применить уравнение Максвелла:

$$\Delta \varphi(r) = 4\pi \rho(r). \quad (14)$$

В связи с этим интересны исследования, где при упрощенном потенциале рассмотрены кластеры разных видов. Возможно, что с потенциалом вида (14) число структур резко бы возросло. Знание потенциала позволяет определить спектр резонансных частот межчастичных (межкластерных) взаимодействий.

#### *Практическая реализация*

Как правило, российские сушильные камеры парового типа имеют форму параллелепипеда размером  $2 \times 3 \times 7$  м. Стены, пол и потолок заземлены.

Нами предложено программное обеспечение для ведения ускоренной сушки пиломатериалов. Со спикера системного блока Пентиум-2 заземленный вывод соединен с корпусом сушильной камеры, а «плюс»-провод выведен на антенну, расположенную в центре сушильной камеры. Рассчитанный по вышеприведенным выражениям (4), (10) – (14) резонансный межчастичный (межкластерный) сигнал (разложен по базису Уолша) подаются на антенну вовнутрь камеры.

Режим сушки древесины – это совокупность тепловлажностных воздействий сушильного агента, в котором происходит сушка древесины, на пиломатериал. Они обеспечивают заданное качество и скорость его сушки. В зависимости от требований, предъявляемых к качеству сушки, древесина может высушиваться различными по температурному уровню режимами.

При использовании режимов высокотемпературного процесса агента сушки служит перегретый при атмосферном давлении пар с температурой выше 100 °С. Высокотемпературные режимы сушки обеспечивают бездефектную сушку пиломатериалов при незначительном уменьшении прочности на статический изгиб, растяжение и сжатие при заметном снижении (до 35 %) прочности на скалывание и раскалывание. В этих режимах [3] рекомендована сушка до эксплуатационной влажности пиломатериалов целевого назначения, работающих с большим запасом прочности.

При низкотемпературных режимах сушки в качестве сушильного агента используют влажный воздух с температурой в начальной стадии до 100 °С. К низкотемпературным режимам сушки относятся мягкие, нормальные и форсированные режимы.

Мягкие режимы обеспечивают сушку пиломатериалов при полном сохранении естественных физико-механических свойств древесины, ее прочности и цвета. Эти режимы рекомендуют для сушки до транспортной влажности экспортных пиломатериалов, в которых не допускается выплывание смолы, выпадение сучков и изменение натурального цвета (потемнение древесины хвойных пород или пожелтение буковой и березовой древесины).

Нормальные режимы обеспечивают бездефектную сушку пиломатериалов при полном сохранении прочностных показателей с незначительными изменениями цвета древесины. Их рекомендуют использовать при сушке древесины для внутреннего потребления до любой влажности. Низкотемпературные режимы сушки пиломатериалов делят на 2 группы: для хвойных и лиственных пород. В зависимости от группы низкотемпературные режимы сушки имеют несколько уровней (ступеней). В процессе сушки пиломатериалов переход с одной ступени на другую осуществляют с учетом влажности древесины. Например, при сушке древесины хвойных пород эти значения составляют 35 и 25 %.

Форсированные режимы обеспечивают бездефектную сушку пиломатериалов при сохранении прочности на статический изгиб, растяжение и сжатие, но при снижении до 20 % прочности на скалывание и раскалывание с потемнением древесины. Такой режим рекомендуют для сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности, он предназначен для изделий, работающих с большим запасом прочности. С помощью специального программного обеспечения можно регулировать набор температуры, стабилизацию ее на уровне от 60 до 80 °С, охлаждение штабеля досок до атмосферной температуры, минимизировать дефекты при всех режимах сушки.

Сигнал, снимаемый со спикера, составлял 1,5 В [3]. Время сушки обычно уменьшалось в 1,5-2 раза без потери качества в зависимости от раз-

меров сушильной камеры. Производственные испытания и внедрение проводили на государственных деревообрабатывающих предприятиях и в частных фирмах Бурятии, Амурской области, Волгограда, Украины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боголюбов, Н.Н.* Проблемы динамической теории в статистической физике [Текст]: избр. тр., т. 2 / Н.Н. Боголюбов. – К.: Наук. думка, 1970. – С. 99–196.
2. *Гиршфельдер, Дж.* Молекулярная теория газов и жидкостей [Текст] / Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд. – М.: Иностран. лит-ра, 1961. – 930 с.
3. *Кречетов, И.В.* Сушка древесины [Текст] / И.В. Кречетов. – М.: Бриз, 1997. – 500 с.
4. *Панченков, Г.М.* Теория вязкости жидкостей [Текст] / Г.М. Панченков. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. – 315 с.
5. Физика простых жидкостей. Часть II [Текст] / Под ред. Г. Темперли, Дж. Роулинсона, Дж. Рашбрука. – М.: Мир, 1973. – 400 с.
6. *Фишер, И.З.* Статистическая теория жидкостей [Текст] / И.З. Фишер. – М.: Физматгиз, 1961. – 280 с.
7. *Френкель, Я.И.* Кинетическая теория жидкостей [Текст] / Я.И. Френкель. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 458 с.

Бурятская государственная  
сельскохозяйственная академия

Поступила 5.05.05 г.

**A.S. Alekseev**

#### **Drying Timber in Drying Kilns of Steam Type**

It is shown from the viewpoint of statistical physics, theory of correlative functions, that the earlier derived equation describing solid, amorphous, liquid and gaseous state of a system could be used when calculating intercluster resonance aimed at accelerating timber drying in the standard drying kilns of the steam type in 1,5-2 times.





## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 630\*86

*Э.И. Гермер*

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



### **ИЗУЧЕНИЕ СУПЕРАКТИВНОГО КАТАЛИЗА КИСЛОРОДНО-ЩЕЛОЧНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ КОМПЛЕКСАМИ МЕТАЛЛОВ ПЕРЕМЕННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ МОДЕЛИ 1,10-ФЕНАНТРОЛИНАТА МЕДИ (II). 4. КИСЛОРОДНО-ЩЕЛОЧНАЯ ВАРКА С НИЗКИМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ПАРАМЕТРОВ КАК ПУТЬ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СУПЕРАКТИВНОГО КАТАЛИЗА**

Разработана новая кислородно-щелочная варка с низкими значениями параметров, позволяющая использовать аппаратуру, подобную той, которая применяется для кислородной делигнификации целлюлозы, и упростить производственную схему получения целлюлозы (совмещение варки, кислородной делигнификации, а иногда и отбелки). Отмечена экономическая эффективность КЩНП-процесса по сравнению с традиционной сульфатной варкой, позволяющая компенсировать стоимость используемого суперкатализатора и его регенерации.

*Ключевые слова:* суперактивный катализ, кислородная делигнификация, разволокненное растительное сырье, низкие значения параметров.

Основной проблемой при промышленной реализации кислородно-щелочной (КЩ) варки древесины является высокий градиент концентрации кислорода по толщине щепы, вызванный его низкой растворимостью в воде и ее растворах в сочетании с высокой активностью кислорода при взаимодействии с лигнином. Эта особенность КЩ варки оказалась очень серьезным препятствием на пути создания производственной аппаратуры. Варочный пульсационный аппарат, созданный во ВНИИБе группой исследователей под руководством Л.О. Иоффе [6, 7], при всей оригинальности и продуктивности принципа его работы, успешных длительных испытаниях на уровне пилотной установки, тем не менее, был относительно сложен конструктивно, и, по мнению некоторых специалистов, реализовать его в промышленном масштабе (производительность по целлюлозе около 500 т/сут и выше) было бы достаточно затруднительно (к сожалению, дальнейшие работы над этим аппаратом были прекращены в период перестройки в связи с отсутствием требуемых для этого немалых средств).

Однако исключительно высокая каталитическая активность суперкатализаторов позволяет предложить новый путь реализации КЩ варки целлюлозы из растительного сырья, в которой проблемы с варочной аппаратурой могут быть сведены к минимуму. При этом еще раз следует оговориться, что сам фенантролинат меди (ФМ) по причине высокой стоимости и по экологическим соображениям (достаточно токсичное, трудно разлагаемое азотсодержащее соединение), к сожалению, не может быть рекомендован в качестве катализатора для промышленной реализации КЩ варки. Однако на примере его использования ниже будет показана реальность создания такого способа варки на основе иных суперкатализаторов, близких по активности ФМ, но лишенных недостатков, препятствующих его применению в промышленной практике.

Существо способа состоит в варке целлюлозы из разделенных на волокна полуфабрикатов высокого и сверхвысокого выхода (полуцеллюлоза, ТММ, ХТММ, рафинерная или древесная масса, массы взрывного автогидролиза и др.). При этом появляется возможность использовать для варки аппаратуру, подобную той, которая обычно применяется для широко распространенной КЩ делигнификации целлюлозы перед ее отбелкой (башни, смесители, насосы и др.). Это становится возможным благодаря упомянутой необычно высокой активности ФМ(I) и (II) или иных суперактивных катализаторов, позволяющих весьма существенно снизить значение основных параметров варки, доведя их до величины соответствующих параметров КЩ делигнификации целлюлозы. При этом продолжительность такого каталитического процесса удается сохранить на уровне обычной КЩ варки (эту каталитическую КЩ варку с низкими значениями параметров мы назвали сокращенно КЩНП варка (способ, процесс)). Сравнение значений основных параметров КЩ и КЩНП варок [2] приведено в табл. 1.

Еще в начале изучения КЩ варки, когда было выявлено наличие свойственного этому процессу значительного градиента концентрации кислорода по толщине щепы, делались попытки реализовать этот способ посредством делигнификации полуфабрикатов высокого и сверхвысокого выхода, предварительно размолотых на рафинерах, – так называемая двухступенчатая КЩ варка [9]. Однако все подобные попытки приводили к получению целлюлозы низкой прочности и пониженного выхода. Это было связано

Таблица 1

Параметр	Значение параметра для варки	
	КЩ	КЩНП
Температура, °С	150...160	90...100
Давление, МПа	2,0...3,0	0,9...1,0
Гидромодуль	20...30	7...9
Концентрация массы, %	3...5	10...13
Расход Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> в ед. NaOH*, кг/т массы в.с.ц	220...340	150...200

\* Нижняя граница интервала для лиственной древесины, верхняя – для хвойной.

с тем, что воздействие кислорода, щелочной среды и температуры 140 ... 150 °С, необходимой для приемлемой скорости делигнификации, на поврежденное при размоле волокно приводило к существенной деструкции его полисахаридной части. При снижении же с помощью катализатора температуры делигнификации этого или иного высоколигнифицированного сырья до 90 ... 100 °С деструкция полисахаридов, как показали наши исследования [3], значительно сокращается.

При разработке КЩНП способа отдельными опытами на осиновых опилках была установлена возможность снижения гидромодуля при варке лиственных пород (которые вообще предпочтительней в качестве сырья при КЩ варке) даже до 6, причем с получением мягкой целлюлозы (число Каппа 6,9) весьма высокой белизны.

При варке ТММ была установлена необходимость соблюдения требуемого зазора между дисками во избежание повышенного содержания железа в массе (от дисков рафинера), конкурирующего с медью при комплексообразовании, но оказывающего резко отрицательное влияние (в том числе и в составе комплекса) на скорость и селективность КЩ делигнификации.

Необходимо также отметить один весьма положительный для КЩНП способа факт: если ТММ, ХТММ и другие древесные полуфабрикаты предполагается использовать в качестве сырья для КЩНП варки, удельный расход энергии (УРЭ) на размол весьма существенно сокращается по сравнению с его величиной на производство полуфабрикатов, непосредственно используемых для изготовления бумажно-картонной продукции. Это связано с тем, что при производстве, в частности, ТММ для обычных целей расход энергии на разволокнение щепы (т.е. то единственное, что необходимо для КЩНП способа) составляет лишь около 25 % от общего расхода энергии на размол [8]. Учитывая, что стоимость энергии, расходуемой на размол, составляет свыше 40 % от общей стоимости сырья, энергии и воды при производстве ТММ, это существенно повышает экономичность КЩНП способа.

Ранее уже обсуждалась защитная роль лигнина по отношению к полисахаридам, деструкция которых также способна усиливаться под действием ФМ, как соединения, легче сорбирующего этот комплекс. Как показала наша практика использования ФМ для катализа КЩ делигнификации, минимальное число Каппа лигноцеллюлозного сырья (ЛЦ) сырья, обеспечивающее достаточно хорошую селективность при варке с ФМ, должно быть не ниже 100 [4]. Поэтому, желая проверить КЩНП способ в условиях, наиболее трудных для выдерживания такого важного показателя как селективность, в качестве сырья была выбрана не ТММ или ХТММ, содержащие 90 ... 100 % лигнина от его содержания в древесине (что соответствует числу Каппа 120 ... 160 в зависимости от породы древесины и степени обработки волокна), а размолотая бисульфитная лиственная полуцеллюлоза производства Светлогорского ЦКК (Белоруссия) с числом Каппа 98 и выходом 70 %. Причем варки проводили в аппарате, специально сконструированном

Таблица 2

Порядковый номер опыта (варки)	Катализатор	Продолжительность варки, мин	Расход Na <sub>2</sub> O, % от массы абс. сухой полуцеллюлозы	Число Каппа	Выход, %	pH щелока	Вязкость, мПа·с	Показатели физико-механических свойств (60 °ШР, 75 г/м <sup>2</sup> )		
								Разрывная длина, м	Сопротивление	
									раздиранию, мН	продавливанию, кПа
1	–	150	9,8	61,8	$\frac{76,9}{53,8}$	9,6	–	–	–	–
2	ФМ	150	9,8	28,9	$\frac{78,6}{55,0}$	9,2	41,1	8940	392	330
3	ДПМ	150	9,8	27,9	$\frac{77,6}{54,3}$	9,4	32,1	8410	392	295
4	ФМ	130	5,4	30,1	$\frac{82,1}{57,5}$	8,7	37,1	7900	540	330
5	ФМ	$\frac{60}{60}$	$\frac{5,4}{5,1}$	$\frac{=}{14,1}$	$\frac{74,2}{51,9}$	–	35,7	8100	491	322
6	–	145	33,0	16,3	60,5	8,5	27,1	8100	410	300

Примечания. 1. Условия варок 1–5:  $t = 100$  °С;  $P_{O_2} = 0,88...0,93$  МПа; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; гидромодуль 8,1; pH исходного раствора 10,45...10,82. 2. ДПМ –  $\alpha, \alpha'$  – дипиридил меди (II). 3. Двухступенчатая варка 5: числитель 1-я, знаменатель – 2-я ступень. 4. Условия варки 6 [5]: без катализатора; пульсационный автоклав;  $t = 150$  °С,  $P_{O_2} = 2,0$  МПа; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; гидромодуль 23; pH 8,5. 5. В графе «Выход» в числителе приведены значения в расчете на абс. сухую исходную полуцеллюлозу, в знаменателе – на абс. сухую древесину с учетом выхода полуцеллюлозы 70 %; для варки 5 выход указан после 2-й ступени.

канд. хим. наук В.Г. Ермолинским для КЩ делигнификации именно целлюлозы, а не древесины.

В табл. 2 приведено сопоставление результатов КЩНП варок и КЩ варок без катализатора [2]. Некаталитическая варка 1 в условиях, аналогичных КЩНП варкам, привела к получению полуфабриката с числом Каппа на 32 ... 47 ед. выше (!) и потому несопоставимого с КЩНП целлюлозой. При этом и селективность некаталитической варки оказалась много ниже: ее выход при числе Каппа 61,8 был даже меньше, чем у значительно глубже делигнифицированных образцов КЩНП целлюлозы. Поэтому более интересно сравнить последние с КЩ целлюлозой, полученной из щепы в пульсационном аппарате, наиболее пригодном для получения качественной целлюлозы по режимам, типичным для обычной КЩ варки [1, 2, 4]. Для сравнения была выбрана КЩ варка при постоянном значении pH (8,5), наиболее близком к наименьшему значению pH (8,7) щелока из полученных в экспериментах (варка 4).

Из сопоставления этой КЩ целлюлозы с КЩНП целлюлозой варок 2–5 видно, что вязкость КЩНП целлюлозы выше, а прочностные показатели такие же или выше, чем у образца КЩ варки. При этом необходимо учесть, что в варке, взятой для сравнения, в качестве сырья использована нормаль-



ная щепка с неповрежденными волокнами, а не волокно, ослабленное предварительным химическим воздействием и размолом, как у бисульфитной полуцеллюлозы для КЩНП варок. По-видимому, этим частично обусловлен более низкий выход КЩНП целлюлозы в пересчете на древесину. Однако основным фактором, повлиявшим на снижение выхода, вероятней всего, явился повышенный расход щелочи при КЩНП варках, что следует из высоких значений рН конечных щелоков варок 2–4 (с повышением рН варок КЩ прочностные свойства и вязкость получаемых целлюлоз снижаются). Это предположение подтверждает сравнение выхода целлюлоз варок 2 и 4, где снижение расхода щелочи, взятой на варку, в 1,8 раза привело к значительному увеличению выхода, причем без какого-либо замедления делигнификации. Из этого следует необходимость тщательной оптимизации рН КЩНП варки при ее реализации в конкретных условиях. Как показали наши расчеты, расход щелочи при КЩНП варке по сравнению с КЩ варкой должен быть ниже не менее, чем на 25 ... 30 % отн.

Следует отметить, что выход 55,0 ... 57,5 % от массы абс. сухой древесины, полученный для КЩНП целлюлозы с числом Каппа 28 ... 30 (табл. 2), существенно (на 3 ... 5 %) превосходит выход образцов целлюлозы той же жесткости, полученных традиционными способами варки, в целом соответствует выходу обычной КЩ целлюлозы и имеет резерв (оптимизация рН) для дальнейшего повышения.

Особое внимание следует обратить на варку 3 (табл. 2), где в качестве катализатора высокой активности использовано новое, ранее не применявшееся для катализа варки комплексное соединение  $\alpha, \alpha'$ -дипиридил меди (II), показавший ускорение и селективность делигнификации, не уступающие ФМ.

Там же представлены результаты двухступенчатого варианта КЩНП варки 5, где ФМ добавляли только в первую ступень с тщательной промывкой древесного остатка перед второй ступенью. Эти результаты показывают, что высоко активные комплексы МПВ, как это уже отмечалось, реализуют свое действие на начальных стадиях варки, и что таким образом можно получать глубоко делигнифицированную целлюлозу с хорошими прочностными показателями. Относительно низкий выход целлюлозы в данном случае, по-видимому, связан с повышенным расходом щелочи на 2-й ступени.

Была выполнена и ориентировочная оценка экономичности КЩНП способа варки при использовании в качестве сырья разволокненной древесины со степенью помола, близкой к полумассному размолу при получении ТММ. Сопоставление калькуляций цеховой себестоимости производства целлюлозы по КЩНП способу (без учета стоимости собственно катализатора) и аналогичной по назначению и жесткости сульфатной целлюлозы показало хорошую экономичность предлагаемого способа: годовой экономический эффект, рассчитанный для потока средней производительности (500 т/сут воздушно-сухой целлюлозы, далее – в.с.ц.), для хвойной целлюлозы составил 2 млн 370 тыс. долларов, для лиственной – свыше 272 тыс. долларов. Однако, как показали расчеты, выполненные во ВНИИБе, значительно больший эко-

номический эффект достигается за счет предотвращенного экономического ущерба от загрязнения воздушного и водного бассейнов, достигаемого при замене сульфатной варки на экологически безопасную КЩ варку. При этом к приведенным выше цифрам годовой экономии добавляются еще более 12 млн долларов. В расчете на 1 т в.с.ц. это составляет 70 ... 85 долларов, что соответствует около 40 % цеховой себестоимости варки сульфатной целлюлозы. Можно предположить, что на эту сумму удастся успешно решить проблемы, связанные с расходами на катализатор и его регенерацию.

Ориентировочный расчет также показал, что и капитальные затраты на КЩНП способ должны быть ниже, чем при сульфатной варке. В частности, стоимость основного оборудования для потока производительностью 500 т/сут, включающего два современных рафинера, вспомогательное оборудование, трубопроводы, оборудование для КЩ делигнификации (считали по стоимости аналогичного оборудования для КЩ отбелки целлюлозы), в совокупности составляет около 30 млн долларов, тогда как только один варочный котел Камюр для сульфатной варки стоит около 50 млн долларов. Затраты на здания, сооружения, строительно-монтажные работы при КЩНП способе также не должны быть выше, чем при сульфатном.

Безусловно, КЩНП делигнификация разволокненных посредством малоинтенсивного размола полуфабрикатов сверхвысокого выхода с использованием суперкатализатора, вероятнее всего, потребует не менее двух ступеней КЩ делигнификации и наличия достаточно высокого давления кислорода (около 1 МПа) на обеих ступенях. Однако при этом можно будет отказаться от ступени КЩ делигнификации перед отбелкой, как самостоятельной стадии обработки целлюлозы, а при получении полубеленой целлюлозы (около 75 ... 78 % по ISO) – возможно, и от отбелки, поскольку, при использовании данного способа варка, кислородная делигнификация и отбелка будут фактически совмещены в одном процессе, в одной аппаратуре. Это хорошо согласуется с прогнозами на будущий технологии производства целлюлозы.

Методическая часть изложена в сообщении 1 [3].

Данной публикацией завершается цикл работ, представленных в виде отдельных сообщений (1–4), связанных одной темой. Поэтому приведенные ниже основные выводы, относятся и к первым трем сообщениям.

#### *Выводы*

1. Установлено, что самостоятельно добавленные в КЩ варку комплексные соединения 1,10-фенантролинат меди (I, II) а также  $\alpha, \alpha'$ -дипиридил меди (II) обладают суперактивностью, ускоряя делигнификацию при температуре 150 ... 160 °С, характерной для обычной КЩ варки в 5–8 раз, а при температуре 90 ... 100 °С – до 15–28 (!) и более раз. Этим впервые экспериментально показано, что процессы делигнификации могут ускоряться с помощью катализа в 2–3, а возможно, и в десятки раз, что ранее считалось в принципе невозможным.

2. Показано, что 1,10-фенантролилат и  $\alpha, \alpha'$ -дипиридил меди являются, хотя и самыми активными, но не единственными комплексными соединениями переходных металлов, катализирующими КЩ делигнификацию. Это позволяет рассматривать, 1,10-фенантролилат меди (II) в качестве типичной модели при изучении химизма и механизма катализа КЩ делигнификации комплексными соединениями металлов переменной валентности.

3. Установлено, что упомянутые выше суперактивные катализаторы обеспечивают высокую селективность делигнификации, вплоть до получения мягкой целлюлозы, при использовании в качестве сырья древесины, а также волокнистых полуфабрикатов с числом Каппа около 100 и выше. Выявлены основные факторы и их численные значения, в совокупности обеспечивающие каталитическую активность комплексов переходных металлов при КЩ делигнификации.

4. Впервые предложен механизм катализа КЩ делигнификации комплексами переходных металлов, рассмотрены отдельные стадии этого механизма, выявлен и обоснован биомиметический характер данного катализа. Показано, что реализации каталитического действия активных комплексов переходных металлов способствует строение лигнина, имеющего значительные по протяженности конъюгированные участки, что сближает его с биологическими электронно-транспортными системами, способными переносить электроны на большие расстояния. Предложенный механизм в сочетании с установленными характеристиками, которыми должно обладать комплексное соединение, чтобы активно катализировать процесс КЩ делигнификации, позволяет перейти от эмпирического к научно-обоснованному подбору активных катализаторов данного процесса.

5. На основе открытия явления суперкатализа КЩ делигнификации и других результатов данного исследования предложен и испытан в лабораторных условиях принципиально новый вариант КЩ варки – КЩ варка с низкими значениями параметров процесса (КЩНП процесс), позволяющая решить техническую проблему, являющуюся основным препятствием в промышленной реализации КЩ варки, – отсутствие варочного аппарата относительно простой конструкции. На лабораторном уровне экспериментально показано, что КЩНП процесс в принципе позволяет использовать для КЩ варки оборудование, предназначенное для широко применяемой в промышленности КЩ делигнификации целлюлозы перед ее отбелкой. Такая возможность появляется при использовании в качестве сырья разволокненных полуфабрикатов сверхвысокого и высокого выхода, поскольку суперактивный катализ позволяет снизить высокие значения основных параметров КЩ варки (температура, давление кислорода, гидромодуль) до существенно более низких значений, соответствующих параметрам КЩ делигнификации целлюлозы. При этом разделение щепы только на волокна (без придания им бумагообразующих свойств и связанного с этим перемола) весьма существенно снижает расход энергии и позволяет использовать упрощенную технологическую схему при производстве волокнистого сырья для КЩНП про-

цесса. Реализация КЩНП процесса также дает возможность исключить из схемы производства беленой целлюлозы ее кислородную делигнификацию, а в ряде случаев, и процесс отбелки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гермер, Э.И.* Катализ кислородно-щелочной делигнификации щепы в пульсационной варочной установке с применением нового эффективного катализатора [Текст] / Э.И. Гермер [и др.] // Лесн. журн. – 1997. – № 3. – С. 95–108. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Гермер, Э.И.* Кислородно-щелочная каталитическая варка с низкими значениями параметров процесса [Текст] / Э.И. Гермер // 5-я Междунар. науч.-техн. конф. «Pap-Fog' 98»: информ. сообщение. – СПб., 1998. – С. 15–16, 79–81 (in Engl.).
3. *Гермер, Э.И.* Изучение суперактивного катализа кислородно-щелочной делигнификации древесины комплексами металлов переменной валентности с использованием в качестве модели 1,10-фенантролината меди (II). 1. Подход к изучению проблемы. Эффективность действия 1,10-фенантролината меди (II) [Текст] / Э.И. Гермер // Лесн. журн. – 2006. – № 3. – С. 70 – 82. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Гермер, Э.И.* Изучение суперактивного катализа кислородно-щелочной делигнификации древесины комплексами металлов переменной валентности с использованием в качестве модели 1,10-фенантролината меди (II). 2. Основные факторы, характеризующие комплексное соединение и его способность быть катализатором редокс-процессов [Текст] / Э.И. Гермер // Лесн. журн. – 2006. – № 3. – С. 82 – 90. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Иванов, Ю.С.* Исследование влияния pH на стабилизацию и деструкцию полисахаридов при кислородно-щелочной варке древесины [Текст] / Ю.С. Иванов [и др.] // Лесн. журн. – 1993. – № 2-3. – С. 80–83. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Иоффе, Л.О.* Делигнификация растительного сырья в пульсационной аппаратуре. 1. О массопередаче кислорода при кислородно-щелочной делигнификации [Текст] / Л.О. Иоффе [и др.] // Химия древесины. – 1984. – № 6. – С. 54–57.
7. *Иоффе, Л.О.* Кислородно-щелочная делигнификация древесины [Текст] / Л.О. Иоффе [и др.] // Бум. пром-сть. – 1989. – Спец. выпуск. – С. 7–11.
8. *Atack, D.* Fundamental differences in energy requirement between the mechanical pulping processes [Text] / D. Atack // International mechanical pulping conference. – Oslo, Sweden, 1981.
9. *Marton, R.* Oxygen pulping of thermomechanical fiber [Text] / R. Marton [et al.] // Tappi J. – 1975. – Vol. 58, N 2. – P. 61–67.

СПб ОО «Экология и бизнес»

Поступила 24.01.05

*E.I. Hermer*

**Study of Superactive Catalysis of Acid-Alkaline Delignification of Wood by Complexes of Variable Valency Metals by Using 1.10 - Phenanthroline Copper (II) as a model. 4. Oxygen-alkaline Cooking with Low Parameters Value as Way of Practical Realization of Superactive Catalysis**

New oxygen-alkaline cooking is developed with low parameters values allowing to use apparatus similar to the one used for pulp oxygen delignification and simplify the production chart for producing pulp (combination of cooking, pulp oxygen delignification and sometimes bleaching). The economic efficiency of oxygen-alkaline cooking with low parameters value is recorded in comparison with traditional sulphate cooking allowing to compensate the cost of the used supercatalyst and its regeneration.

---

В статье Э.И. Гермера «Изучение суперактивного катализа кислородно-щелочной делигнификации древесины комплексами металлов переменной валентности с использованием в качестве модели 1,10-фенантролината меди (II). 3. Пути реализации катализа и его механизм» (Лесн. журн. 2006. № 4. С. 100 – 112), принятой по электронной почте, произошло искажение формул:

1. В реакционной схеме 1 в интермедиатах, получаемых при реализации ступеней 1 и 2, а также в схеме 3 и в исходном трехкомпонентном комплексе в схеме 6 атомы кислорода должны соединяться в молекулу, имеющую бирадикальную природу, одинарной, а не двойной связью, как ошибочно изображено в схемах упомянутых реакций.

2. В схеме 3 в исходном аддукте ошибочно показано наличие одной из двух координационных связей – между атомом кислорода и катионом металла ( $M^{n+1}$ ).

---

УДК 676.056.42

*А.Б. Коновалов*

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА В ПРЕССАХ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Предложена математическая модель прессования бумажного полотна, рассматриваемого как трехкомпонентная система, состоящая из воды, воздуха и волокон целлюлозы; получена система из двух уравнений, описывающих обезвоживание бумажного полотна под действием внешней переменной нагрузки.

*Ключевые слова:* прессование, бумажное полотно, сухость, давление.

При производстве бумаги особую роль играют процессы удаления из влажного полотна воды. Эти процессы происходят в сеточной, прессовой и сушильной частях бумагоделательных машин. Основная часть воды удаляется в сеточной части. Однако к концу сеточной части полотно содержит еще значительное количество воды, удерживаемой капиллярными силами, а также некоторое количество свободной воды, которая не могла быть удалена в сеточной части из-за недостаточного разрежения и непродолжительного действия вакуума. Для большинства видов бумаги и картона сухость после сеточной части составляет около 20 %.

Дальнейшее обезвоживание бумажного полотна происходит в прессовой части машины под действием внешней нагрузки. При этом удаляется в основном свободная вода, что ведет к значительному увеличению числа контактов между волокнами. В результате возрастают сухость, прочность и плотность полотна. От эффективности работы прессовой части зависят затраты на сушку бумаги и производительность машины. С целью сократить расход пара на сушку стремятся получить после прессовой части максимально возможную сухость. Однако повышение сухости за счет увеличения давления между прессовыми валами приводит к увеличению затрат энергии на привод валов, что может не компенсироваться снижением затрат на сушку. Кроме того, чрезмерное прессование может ухудшить потребительские свойства вырабатываемой на машине продукции.

Представим бумажное полотно как пористую среду, в которой помимо твердой фазы, образованной целлюлозными волокнами, имеется система пустот – пор. Будем различать внешнее и внутреннее поровое пространство. Внешнее поровое пространство образовано системой пор, находящихся вне целлюлозных волокон, и заполнено водой и воздухом, которые в процессе сжатия бумажного полотна в прессовом захвате удаляются в прессовое сукно. Внутреннее поровое пространство образуют поры, находящиеся внутри волокон.

При построении математической модели будем считать, что количество воды, находящейся внутри волокон, в процессе механического уплотнения бумажного полотна остается неизменным. Поэтому внешнее поровое пространство будем называть активным, а внутреннее – неактивным. Сжимаемостью воды и целлюлозы пренебрегаем. В соответствии с этими предположениями объем бумажного полотна  $V$  складывается из объема воды  $V_1^a$  и объема воздуха  $V_2$  во внешнем поровом пространстве, объема волокон  $V_3$  и объема воды, находящейся внутри волокон  $V_1^n$ :

$$V = V_1^a + V_1^n + V_2 + V_3.$$

Введем коэффициент активной пористости  $\varepsilon$  и предельный коэффициент пористости  $\varepsilon_{\text{lim}}$ :

$$\varepsilon = \frac{V_1^a + V_2}{V_1^n + V_3}; \quad \varepsilon_{\text{lim}} = \frac{V_1^n}{V_3}.$$

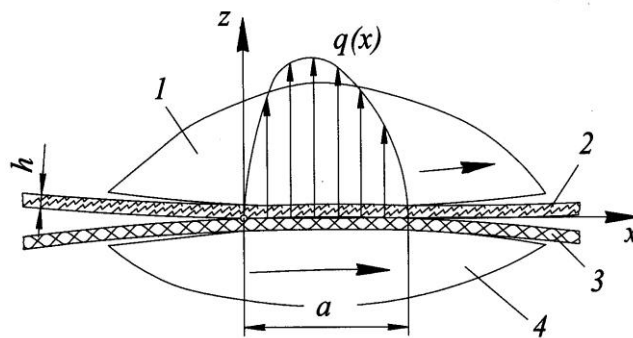


Рис. 1. Схема прессового захвата: 1 – верхний вал;  
2 – бумажное полотно; 3 – прессовое сукно;  
4 – нижний вал

Прессование бумажного полотна происходит в прессовом захвате, образуемом двумя валами. Процесс характеризуется законом распределения внешнего давления  $q(x)$  по ширине  $a$  площадки контакта валов (рис. 1).

Поскольку радиус прессовых валов значительно больше толщины бумажного полотна, то будем пренебрегать кривизной площадки контакта. Учитывая, что проницаемость бумажного полотна в машинном направлении (вдоль оси  $x$ ) меньше, чем в направлении оси  $z$ , и пренебрегая фазовыми переходами, прессование бумажного полотна будем рассматривать как одномерное движение трехкомпонентной среды под действием внешней, изменяющейся во времени, сжимающей нагрузки.

В процессе прессования бумажного полотна одновременно с течением воды и воздуха через его волокнистый «скелет» происходит деформирование и самого скелета. Поэтому для описания течения воды и воздуха необходимо использовать закон Дарси–Герсеванова:

$$u_1 - u_3 = \frac{k_1}{\mu_1 \varphi m} \frac{\partial p}{\partial z}; \quad (1)$$

$$u_2 - u_3 = \frac{k_2}{\mu_2 (1 - \varphi) m} \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (2)$$

где  $u_1, u_2, u_3$  – соответственно скорость воды, воздуха и волокон, отнесенная к занимаемым ими площадям рассматриваемого сечения;

$\varphi$  – водонасыщенность (отношение объема активного порового пространства, занятого водой ко всему объему активного порового пространства);

$m$  – активная пористость,  $m = \varepsilon / (1 + \varepsilon)$ .

Перемещение верхней границы бумажного полотна затрудняет формулировку граничных условий. Поэтому целесообразно формулировать задачу с использованием лагранжевой массовой координаты. Выделим двумя горизонтальными плоскостями, которые перемещаются со скоростями, рав-

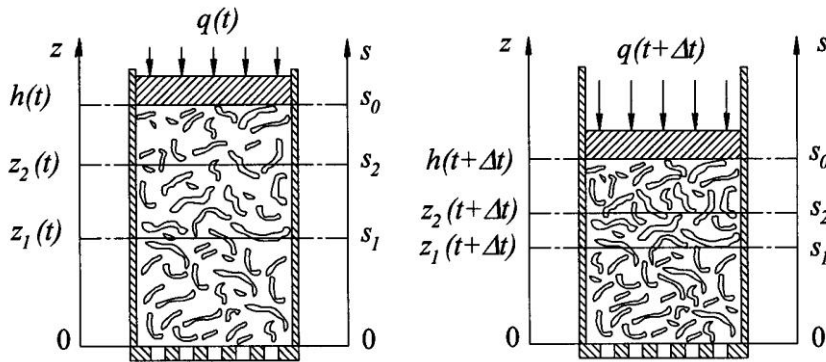


Рис. 2. Схема, поясняющая методику расчета

ными скоростям волокон скелета, элементарный слой бумажного полотна, представляющий собой параллелепипед высотой  $dz$  и площадью в основании, равной 1. В процессе уплотнения толщина элементарного слоя  $dz$  будет изменяться, но масса волокон в нем будет оставаться постоянной и равной ее начальной (до приложения внешней нагрузки) величине. Таким образом, эйлеровы координаты  $z$  верхней и нижней плоскостей в моменты времени  $t$  и  $t + \Delta t$  будут разными, а массовые координаты  $s$  одинаковыми (рис. 2).

Массовая координата  $s$  связана с координатой  $z$  соотношением

$$s = \int_0^z \frac{\rho_3}{(1 + \varepsilon)(1 + \varepsilon_{lim})} dz,$$

где  $\rho_3$  – плотность волокон скелета.

Массовая координата верхней границы бумажного полотна равна массе  $1 \text{ м}^2$  воздушно-сухого бумажного полотна  $s_0$ .

Так как



$$\frac{\partial s}{\partial z} = \frac{\rho_3}{\mu_1 \phi (1 + \varepsilon) + \varepsilon_{lim}}$$

то уравнения (1) и (2) могут быть записаны следующим образом:

$$\bar{u}_1 = \frac{k_1 \rho_3}{\mu_1 \phi (1 + \varepsilon) + \varepsilon_{lim}} \frac{\partial p}{\partial s}; \quad (3)$$

$$\bar{u}_2 = \frac{k_2 \rho_3}{\mu_2 (1 - \phi) (1 + \varepsilon) + \varepsilon_{lim}} \frac{\partial p}{\partial s}, \quad (4)$$

где  $\bar{u}_1$ ,  $\bar{u}_2$  – скорости воды и воздуха относительно волокон скелета.

Рассматриваемый элементарный слой содержит массу волокна  $ds$ . Масса воды, находящейся в активном поровом пространстве, составит

$$dM_1 = \varepsilon \phi (1 + \varepsilon_{lim}) \frac{\rho_1}{\rho_3} ds,$$

масса воздуха

$$dM_2 = \varepsilon (1 - \phi) (1 + \varepsilon_{lim}) \frac{\rho_2}{\rho_3} ds.$$

За промежуток времени  $dt$  из рассматриваемого слоя через его нижнюю границу уходит масса воды, равная  $\rho_1 \bar{u}_1 m \phi dt$ , а через верхнюю границу поступает масса воды, равная  $\rho_1 \left( \bar{u}_1 m \phi + \frac{\partial}{\partial s} (\mu_1 m \phi) ds \right) dt$ .

Таким образом, за промежуток времени  $dt$  в рассматриваемом слое увеличение массы воды составит

$$\frac{\partial}{\partial s} (\mu_1 \bar{u}_1 m \phi) ds dt = \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{k_1 \rho_1 \rho_3}{\mu_1 (1 + \varepsilon) + \varepsilon_{lim}} \frac{\partial p}{\partial s} \right) ds dt. \quad (5)$$

С другой стороны, это увеличение будет равно

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \varepsilon (1 + \varepsilon_{lim}) \phi \frac{\rho_1}{\rho_3} ds \right) dt. \quad (6)$$

Приравняв выражения (5) и (6), получим уравнение, описывающее течение воды в бумажном полотне:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \varepsilon \phi \frac{\rho_1}{\rho_3} \right) = \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{k_1 \rho_1 \rho_3}{\mu_1 (1 + \varepsilon) + \varepsilon_{lim}} \frac{\partial p}{\partial s} \right). \quad (7)$$

Аналогичным образом можно получить уравнение для воздуха:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \varepsilon (1 - \phi) \frac{\rho_2}{\rho_3} \right) = \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{k_2 \rho_2 \rho_3}{\mu_2 (1 - \phi) (1 + \varepsilon) + \varepsilon_{lim}} \frac{\partial p}{\partial s} \right). \quad (8)$$

При преобразовании этих уравнений к более удобному для решения виду воспользуемся фильтрационно-компрессионными характеристиками бумажного полотна и уравнением состояния воздуха. Коэффициент порис-

тости зависит от эффективных напряжений в скелете бумажного полотна. Эту зависимость, называемую компрессионной характеристикой бумажного полотна, можно представить в следующем виде:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-\alpha \sigma}.$$

Решение поставленной задачи осложняется еще тем, что бумажное полотно не является абсолютно упругим материалом и при полном снятии внешней нагрузки восстанавливается не полностью. Примем, что разгрузка бумажного полотна, которая начинается при уменьшении эффективного напряжения, описывается уравнением

$$\varepsilon = \varepsilon_0^* e^{-\alpha^* \sigma}.$$

Параметры разгрузочной кривой:

$$\alpha^* = a \left( \frac{\varepsilon_{\min}}{\varepsilon_0} \right)^r; \quad \varepsilon_0^* = \varepsilon_{\min} e^{\alpha \sigma_{\max}}; \quad \varepsilon_{\min} = \varepsilon_0 e^{-\alpha \sigma_{\max}},$$

где  $r$  – опытный коэффициент, характеризующий компрессионные свойства бумажного полотна при снятии нагрузки;

$\sigma_{\max}$  – максимальное эффективное напряжение, достигаемое в данной точке бумажного полотна на стадии нагрузки.

Проницаемость бумажного полотна для воды и воздуха может быть представлена в виде

$$k_i = k_a k_{\phi i}, \quad i = 1, 2,$$

где  $k_a$  – абсолютная проницаемость бумажного полотна;

$k_{\phi 1}, k_{\phi 2}$  – относительные фазовые проницаемости бумажного полотна соответственно для воды и воздуха.

Абсолютная проницаемость зависит только от пористости бумажного полотна:

$$k_0 = k_a \frac{1 + \varepsilon}{1 + \varepsilon_0} \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^n.$$

Здесь  $k_0, \varepsilon_0$  – абсолютная проницаемость и коэффициент пористости бумажного полотна перед прессованием;

$n$  – опытный коэффициент.

Относительные фазовые проницаемости зависят от насыщенности пор соответствующими компонентами и могут быть представлены в виде

$$k_{\phi i} = \left( \frac{\varphi_i - \varphi_{\text{кpi}}}{1 - \varphi_{\text{кpi}}} \right)^{3,5}, \quad i = 1, 2,$$

где  $\varphi_{\text{кpi}}$  – критическая насыщенность материала  $i$ -й фазой, т. е. такая насыщенность  $i$ -й фазы, при которой ее движение прекращается.

Поскольку  $\sigma = q - p$ , производная от коэффициента пористости по массовой координате

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \alpha \varepsilon \left( \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{\partial q}{\partial t} \right). \quad (9)$$

Уравнение состояния воздуха при изотермической фильтрации будет иметь следующий вид

$$\rho_2 = \rho_a \frac{P + P_a}{P_a}, \quad (10)$$

где  $\rho_a$  – плотность воздуха при атмосферном давлении  $P_a$ .

Используя уравнения (9) и (10), а также вводя безразмерные переменные  $\tau = \frac{t}{T_0}$ ,  $\psi = \frac{s}{S_0}$  (где  $2T_0$  – продолжительность прессования), уравнения (7) и (8) представим в виде

$$\alpha \varphi \varepsilon \frac{\rho_1}{\rho_3} \frac{\partial p}{\partial \tau} + \varepsilon \frac{\rho_1}{\rho_3} \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \frac{T_0}{S_0^2} \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \frac{k_{\varphi 1} \xi \rho_1 \rho_3 \varepsilon^n}{\mu_1} \frac{\partial p}{\partial \psi} \right) + \alpha \varphi \varepsilon \frac{\rho_1}{\rho_3} \frac{\partial q}{\partial \tau}; \quad (11)$$

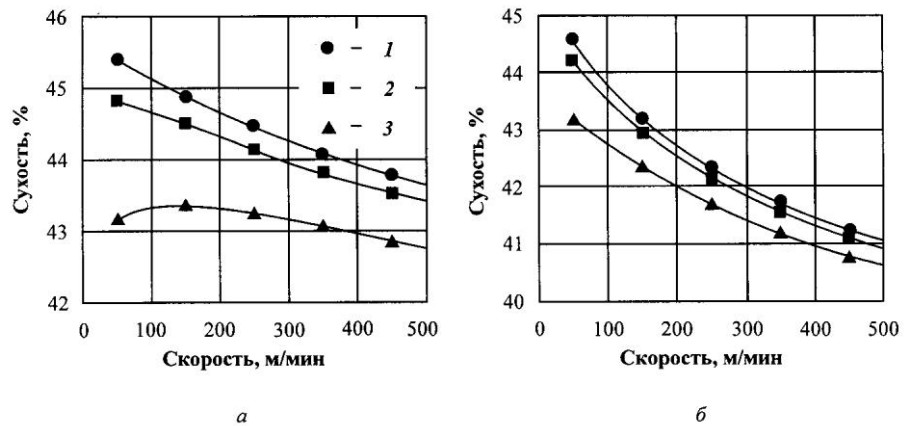


Рис. 3. Влияние скорости машины на сухость при прессовании бумаги между двух сукон (а) и с одним сукном (б) при различных значениях компрессионного коэффициента: 1 –  $r = 0,95$ ; 2 –  $0,80$ ; 3 –  $0,60$

$$\frac{\alpha \varphi \xi}{\rho_3} \left( \alpha \rho_2 + \frac{\rho_a}{P_a} \right) \frac{\partial p}{\partial \tau} - \varepsilon \frac{\rho_2}{\rho_3} \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \frac{T_0}{S_0^2} \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \frac{k_{\varphi 2} \xi \rho_2 \rho_3 \varepsilon^n}{\mu_2} \frac{\partial p}{\partial \psi} \right) + \alpha \rho_2 \frac{\alpha \varphi \xi}{\rho_3} \cdot \frac{\partial q}{\partial \tau}, \quad (12)$$

где  $\xi$  – постоянная величина, характеризующая свойства конкретного бумажного полотна,

$$\xi = \frac{k_0}{\varepsilon_0^n + \varepsilon_0 + \varepsilon_{lim}^2}.$$

Систему уравнений (11) и (12) решали методом конечных разностей. На рис. 3 приведены результаты расчетов обезвоживания бумажного полотна в прессовом захвате при линейном давлении 40 кН/м и шириной 20 мм. Гидравлическим сопротивлением прессового сукна пренебрегали.

Из графиков, приведенных на рис. 3, следует, что сухость с увеличением скорости падает, за исключением случая прессования с двумя сукнами при  $r = 0,60$ , когда сухость возрастает при увеличении скорости до 150 м/мин. Это явление известно на практике и может быть объяснено обратным впитыванием воды из сукна в бумажное полотно.

Таким образом, предложенная математическая модель прессования бумажного полотна позволяет оценивать влияние различных параметров прессов на их обезвоживающую способность.

С.-Петербургский государственный  
технологический университет  
растительных полимеров

Поступила 23.05.05

*A.B. Konovalov*

### **Mathematical Model of Pressing Process of Paper Sheet in Papermaking Machine Presses**

The mathematical model of pressing the paper sheet viewed as a three-component system consisting of water, air and pulp fiber is proposed. The system of two equations describing the dewatering of paper sheet under the influence of external variable load is received.



УДК 676.1.022.1.:688.743.54

***А.В. Вураско, В.В. Глазырин, Ю.В. Романова***

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 более 70 печатных трудов в области каталитического окисления органических соединений и каталитической варки древесины.



Глазырин Владимир Викторович родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Уральский лесотехнический институт, в 1987 г. окончил ЦИПК, начальник патентного отдела Уральского лесотехнического университета. Имеет 2 печатных труда в области охраны интеллектуальной собственности.



Романова Юлия Валерьевна родилась в 1979 г., окончила в 2003 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант кафедры химии древесины и технологии ЦБП УГЛТУ. Имеет 3 печатных труда в области каталитического окисления органических соединений.



**АНТРАХИНОН – ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА**

Проанализированы имеющиеся в литературе сведения о способах варки целлюлозы с антрахиноном, разновидности применяемого сырья, типы и модификации катализатора – антрахинона; дана оценка применения катализатора в России и за рубежом.

*Ключевые слова:* антрахинон, способы варки, динамика, тенденции объектов и предметов поиска.

В настоящее время большое количество информации о варочных процессах в ЦБП относится к новым технологиям и новому оборудованию, а не к химическим модификациям варки [4]. Исключением можно считать варку с антрахиноном (АХ), получившую широкое распространение. Успешное действие антрахиноновых катализаторов заключается в удачной комбинации их свойств. Технически успешный катализатор, работающий по циклу восстановления и окисления, должен быть химически и стерически устойчив к действию горячей щелочи высокой концентрации [2]; способен восстанавливать альдегидные функциональные группы полисахаридов и приобретать форму, которая может восстанавливать и разрушать активные промежуточные структуры лигнина; растворять низкомолекулярную фракцию лигнина в горячей щелочи; иметь низкую токсичность, не влиять отри-

цательно на окружающую среду; иметь экономически выгодную стоимость. АХ, удовлетворяющий перечисленным условиям, стал успешным химическим и техническим катализатором.

Выявлены два основных эффекта от применения антрахинона: ускорение щелочной варки; стабилизация углеводов с сохранением выхода. Изменяя основные технологические параметры варочного процесса, можно усилить тот или иной эффект от действия катализатора в зависимости от требуемого качества полуфабриката.

Можно выделить следующие направления в работах по щелочным варкам с АХ:

проведение нетрадиционных (промышленных или экспериментальных) щелочных процессов – комбинации АХ с сульфитом или бисульфитом, в полисульфитной варке, в комбинации АХ и метанола;

расширение области применения;

снижение стоимости;

защита окружающей среды – снижение загрязнения воздушного бассейна путем уменьшения сульфидности или полного устранения серы из варочного процесса; снижение загрязнения воздушного и водного бассейнов путем уменьшения расхода реагентов на отбелку при пролонгированной варке до низких чисел Каппа.

АХ решает многие проблемы ЦБП во всем мире. Большинство японских заводов давно используют АХ, на некоторых предприятиях Северной Америки применяют его с 90-х годов прошлого века. По данным [3] в США при периодической варке используют АХ на 25 линиях, при непрерывной варке Камюр – на 13 линиях, при непрерывной варке – на 1 линии; 23 завода производят целлюлозу из хвойной древесины; 6 – из лиственной, 11 – из хвойной и лиственной. При оценке действия катализатора на 8 предприятиях отмечено существенное увеличение выхода, на 7 – сократились объемы черных щелоков при регенерации, на 5 – снизилось содержание лигнина в небеленой целлюлозе перед отбелкой, на 4 – не удалось добиться повышения выхода. Большие неудобства доставляют растворимость и специфические свойства порошка АХ, поэтому применяют различные формы ввода АХ в варочный процесс: в виде дисперсии – 6 заводов; в растворимой форме – 14; в сухом виде – 1.

Основной целью использования АХ является увеличение выхода, снижение содержания остаточного лигнина в полуфабрикатах, направляемых на отбелку, при дозировке катализатора менее 0,1 % от абс. сухой древесины.

Побуждающие факторы широкого применения АХ за рубежом: увеличение стоимости древесного сырья; потребность в целлюлозе с низким числом Каппа для уменьшения количества химикатов на отбелку при снижении нагрузки на окружающую среду; минимизация узких мест при регенерации химикатов; жесткие требования к загрязнению окружающей среды.

Тормозящие факторы использования АХ в России: высокая стоимость АХ по сравнению со стоимостью древесного сырья; отсутствие широ-

кой сырьевой базы для производства АХ в необходимых для ЦБП количествах; отсутствие технологических линий полного цикла производства целлюлозы с применением АХ; отсутствие жестких требований к охране окружающей среды.

В ходе изучения патентной и научно-технической литературы выявлены динамика, тенденции объектов и предметов поиска. Под *динамикой* подразумевают отражаемое в публикациях изменение активности за определенный период времени, под *тенденцией* – выявленную закономерность развития технологического процесса. На основе динамики определяют тенденции изобретательской активности. Анализ литературных источников и патентных документов путем сочетания динамики и тенденции публикации позволяет проанализировать весь объем литературы по указанным источникам информации, соответствующий уровню развития данного объекта исследования; обеспечить оценку динамичности объекта исследования в диапазоне разброса его значений за период 25 лет.

Предметом нашего поиска являлись способы варки целлюлозы с АХ, разновидности применяемого сырья для варки с АХ, типы и модификации катализатора АХ.

Патентные исследования проводили для выявления технических решений, которые могут быть учтены при создании новых технологий и основных направлений развития объекта исследований.

Поиск проводили по Российской Федерации с использованием официальных бюллетеней Федерального института промышленной собственности, реферативных журналов «Технология и оборудование лесозаготовительного, деревообрабатывающего и целлюлозно-бумажного производства».

Анализ показал следующее:

АХ применяют для всех типов варок: сульфатной, натронной и сульфитной (рис. 1, 2). В настоящее время наибольший интерес представляют разработки технологии сульфитной и сульфатно-полисульфидной варок целлюлозы;

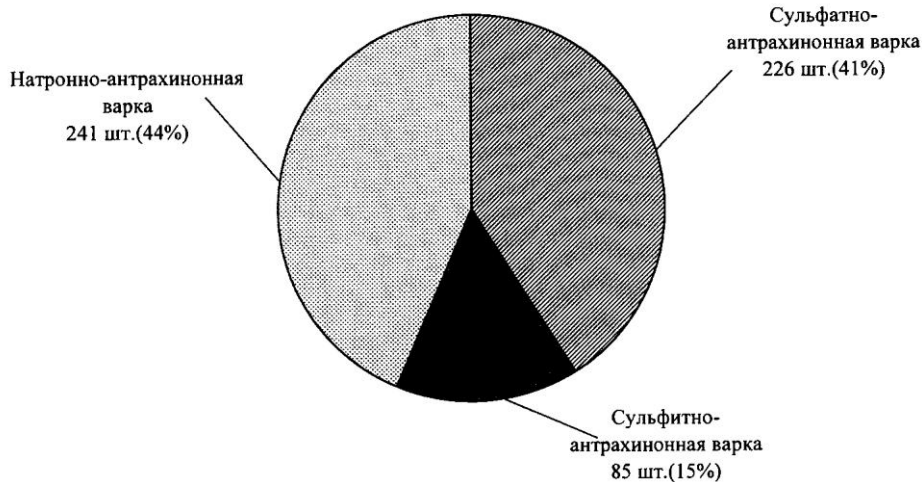


Рис. 1. Тенденции развития натронных, сульфатных и сульфитных варок с применением антрахинона

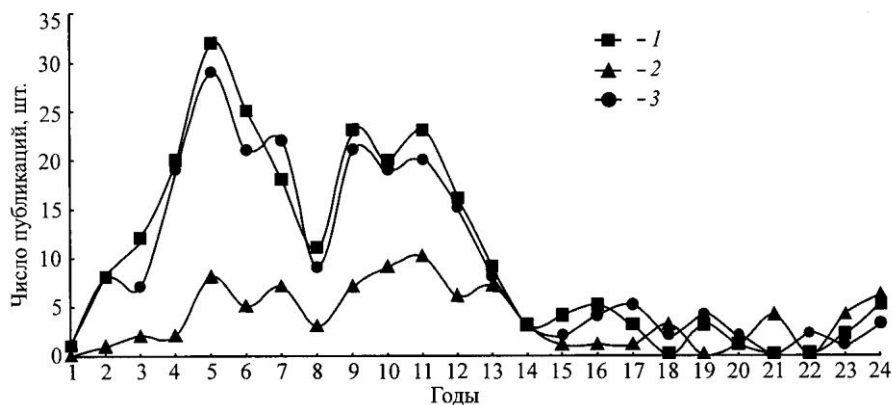


Рис. 2. Динамика развития способов каталитических варок с антрахиноном: 1 – сульфатно-антрахинонные, 2 – сульфитно-антрахинонные, 3 – натронно-антрахинонные (цифры по горизонтальной оси – годы по порядку с 1977 по 2000)

при проведении каталитических варок наиболее интересна древесина хвойных пород, затем лиственных и смешанных, на последнем месте – травянистое растительное сырье (рис. 3);

АХ для каталитических варок используют в чистом, модифицированном виде или в виде производных хиноновых соединений; исходя из динамики можно сделать вывод, что чаще всего используют АХ в чистом виде (рис. 4);

наблюдает значительное отставание России от стран с развитой целлюлозно-бумажной промышленностью в вопросах исследования и внедрения технологий варки целлюлозы с АХ.



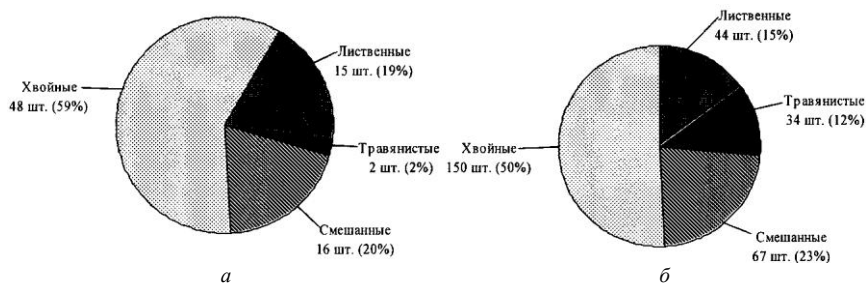
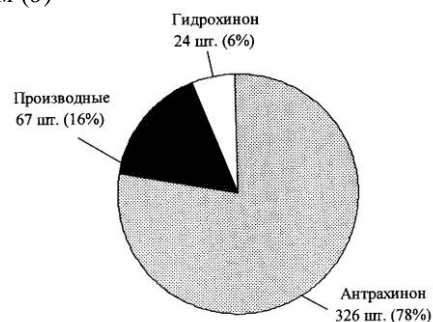


Рис. 3. Тенденции развития объекта поиска по породному составу в России (а) и за рубежом (б)

Рис. 4. Тенденции развития объекта поиска с антрахиноном в различных формах



В России использование АХ до 2001 г. ограничивалось опытно-промышленными выработками целлюлозы [1]. В 2002 г. на предприятии ОАО «ЦЗ «Питкяранта» была получена товарная целлюлоза высокого качества с применением антрахиноносодержащего катализатора. В настоящее время ряд целлюлозно-бумажных предприятий Уральского региона на основе собственных опытно-промышленных выработок рассматривают вопрос о внедрении каталитических варок с АХ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванова, И.С. Разработка технологии сульфатной варки с использованием антрахинона [Текст] / И.С. Иванова, Л.А. Василенко, А.И. Александрович // Целлюлоза, бумага, картон: экспресс-информ. / ВНИПИЭлеспром. – 1990. – Вып. 20. – С. 2–17.
2. Шевченко, С.М. Химия антрахиноновой варки [Текст] / С.М. Шевченко, И.П. Дейнеко // Химия древесины. – 1983. – № 6. – С. 3.
3. Biasca, K.L. A survey of pulp mill use of anthraquinone [Text] / K.L. Biasca. – 1998. – Vol. 81, N. 1. – P. 78–79.
4. Terrence, J.Blain. Anthraquinone pulping: fifteen years later [Text] / J.Blain. Terrence // Tappi Journal. – 1993. – Vol. 76, N. 3. – P. 137–146.

Уральский государственный  
лесотехнический университет  
Поступила 24.11.03

A.V. Vurasko, V.V. Glazyrin, Yu.V. Romanov  
**Anthraquinone – Yesterday, Today, Tomorrow**

Available data on pulp cooking with anthraquinone, varieties of applied raw material, types and modifications of catalyst-anthraquinone are analyzed. Use of the catalyst in Russia and abroad is assessed.



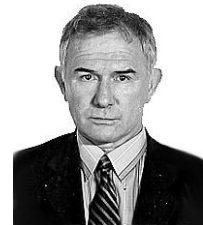
УДК 630\*378

***К.Б. Соколов, А.Н. Минаев, М.М. Овчинников, В.И. Пятакин,  
В.Б. Олофинский, Э.М. Гусейнов***

Соколов Константин Борисович окончил в 1973 г. Ленинградскую лесотехническую академию, генеральный директор ОАО «ЦНИИЛесосплава». Имеет 75 печатных трудов в области водного транспорта леса.



Минаев Александр Николаевич родился в 1945 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водного транспорта леса и гидравлики, декан лесоинженерного факультета С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 100 печатных трудов по исследованию двухфазных потоков в напорных гидротранспортных системах, сохранению гидробионтов при кавитационных режимах, возникающих в турбинах ГЭС.



Пятакин Василий Иванович родился в 1935 г., окончил в 1959 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, старший научный сотрудник по машинам и механизмам технологии лесозаготовок, заслуженный деятель науки и техники РФ, действительный член Российской академии естественных наук, Нью-Йоркской академии наук, Международной академии наук высшей школы. Имеет более 300 печатных трудов по экономическим и технологическим проблемам водо- и лесопользования.



Олофинский Владимир Борисович окончил в 1973 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры водного транспорта леса и гидравлики С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет 28 печатных работ в области исследования трубопроводного гидротранспорта круглых лесоматериалов, оценки плавучести древесины радионуклидным методом, сопротивления движению плотов разных конструкций.



**ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ ЛЕСА КАК ЭКОНОМИЧЕ-**

## СКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ РАЗВИТИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Проанализировано современное состояние лесопромышленного комплекса России, обоснована необходимость использования водного транспорта для доставки лесоматериалов потребителям.

*Ключевые слова:* лесопромышленный комплекс, затонувшая древесина, поставки водным транспортом.

Лесные массивы России являются крупнейшими в мире по площади и запасам спелой древесины. Общая площадь земель лесного фонда равна 1173 млн га, в том числе покрытых лесом 774,2 млн га, общий запас древесины 81,9 млрд м<sup>3</sup>, т. е. 23 % от мировых запасов.

При научно обоснованном возможном годовом объеме рубок 700 млн м<sup>3</sup> в 2003 г. вывозка леса по рубкам главного пользования составила только 105 млн м<sup>3</sup>, а с учетом рубок промежуточного пользования и других – 174 млн м<sup>3</sup>. В 1980-е гг. в СССР заготавливали более 370 млн м<sup>3</sup>. Учитывая постоянный спрос на деловую древесину, необходимо в ближайшие годы выйти хотя бы на этот объем заготовки лесоматериалов.

Крайне низкие объемы лесозаготовок в настоящее время объясняются неудовлетворительным техническим состоянием лесозаготовительных и лесосплавных предприятий, большими издержками при заготовке и транспортировке лесоматериалов, неоправданным опустошением лесных площадей, тяготеющих к существующим транспортным путям, отсутствием сети автомобильных и железных дорог в многолесных районах, весьма низким уровнем использования существующих водных путей для транспортировки древесины. Все это приводит к экологическому кризису окружающей среды в целом ряде лесных регионов России.

На берегах лесосплавных рек и вдоль лесовозных дорог возникали штабеля из разнесенной и оставленной древесины, различных древесных отходов и опилок. На дне водоемов залегают около 20 млн м<sup>3</sup> лесоматериалов, а с учетом затопленной древесины более 30 млн м<sup>3</sup>.

Это результат не только слабой технической оснащенности предприятий лесного комплекса, но и превышения объемов водного транспорта леса над естественной пропускной способностью рек, грубого нарушения технологии подготовки леса к молевому лесосплаву и его проведения без предварительного осуществления комплекса мелиоративных работ на водных транспортных путях страны.

Тем не менее, ранее применялись экономически выгодные и экологически безопасные технологические процессы: внедрение безотходных технологий переработки леса, транспортировка лесоматериалов в хлыстах в целях максимального использования всей заготавливаемой древесной массы, развитие береговой сплотки леса, совершенствование конструкций плотов

для повышения их волноустойчивости, создание своей машиностроительной базы, существовал государственный контроль на водном транспорте леса и т. д. Этот положительный опыт следует использовать и в современных рыночных условиях.

С целью оценить технический уровень лесосплавных предприятий ОАО " ЦНИИлесосплава" в 1998/99 гг. проанализировал их работу. Было установлено, что износ основных фондов приблизился к 100 %, а в большинстве случаев срок эксплуатации оборудования давно истек. Высокая стоимость оборудования не позволяет его обновлять. Практически ликвидированы все заводы, производящие лесозаготовительную и лесосплавную технику. Но самое главное – это потеря высококвалифицированных кадров лесосплавной отрасли и практически полное отсутствие заявок на подготовку таких специалистов.

Ежегодно проводимые в стране различные форумы, конференции, совещания, посвященные развитию лесопромышленного комплекса России, не приносят желаемого результата, так как принимаемые там решения не реализуются на практике. Крайне низки объемы заготовок лесоматериалов, глубокой переработки древесины, медленно сокращается экспорт круглого леса, более 50 % лесного бизнеса осуществляется без официальных лицензий. Все это отрицательно влияет на привлечение инвестиций в лесной комплекс России.

Для повышения экономической эффективности лесопромышленного комплекса необходимо, наряду с решением всего комплекса вопросов лесной политики, разработать Программу освоения новых массивов с большими запасами спелой древесины, особенно в труднодоступных районах Сибири и Дальнего Востока, предусматривающую восстановление истощенных лесных площадей.

Лес – это национальное богатство нашей страны, а лесопромышленный комплекс России, по определению одного из руководителей комитета по природным ресурсам и природопользованию Государственной думы РФ, представляет собой незадействованный потенциал российской экономики.

Для успешного развития лесной отрасли необходимо разработать систему дотаций лесозаготовительным и лесосплавным предприятиям. В большинстве стран мира эти проблемы успешно решаются правительствами за счет отчисления части прибыли предприятий ЦБП в виде добавки к цене за кубометр заготовленного леса поставщикам древесины. Комплексная модернизация лесного комплекса возможна при условии выделения на эти цели в федеральном бюджете страны 1,5 ... 2,0 млрд р.

По результатам исследований российских и зарубежных специалистов, потребление основных видов лесной продукции к 2015 г. на внешнем рынке возрастет: по деловой древесине на 12, пиломатериалам на 10 %, фанере и плитам в 2,1, бумаге и картону в 1,6 раза. Рост потребления этой продукции на внутреннем рынке ожидается еще больше.

Развитие лесопромышленного комплекса, введение новых мощностей по выпуску лесоматериалов невозможны без значительного роста объемов заготовок леса.

В увеличении объемов поставок лесоматериалов потребителям главными являются транспортные препятствия: неразвитая сеть автомобильных и железнодорожных магистралей, весьма слабое использование существующих водных путей.

В предложениях ОАО «ЦНИИлесосплава» неоднократно подчеркивалось, что отказ от молевого лесосплава без внедрения продуманной альтернативы означает практически полное прекращение освоения новых лесных массивов со спелой высококачественной древесиной. Ориентирование только на сухопутный транспорт леса не в состоянии решить задачу об увеличении объемов заготовок леса и доставке его потребителям. Известно, что вывозка леса автомобильным транспортом на расстояние более 120 ... 150 км экономически нецелесообразна. В лесах, расположенных вблизи существующих автомобильных дорог, среднее расстояние транспортировки лесоматериалов значительно выше. Кроме возрастающей стоимости перевозок леса от увеличения протяженности его транспортировки, разрушающего действия на автостреды общего пользования, автомобильный транспорт негативно влияет на окружающую среду. По данным Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, загрязнение воздуха достигает 95,0, шума 49,5, а неблагоприятное воздействие на климат 68,0 %. Ежегодный экономический ущерб от функционирования грузового автотранспорта России превышает 700 млн долл.

Новые лесные районы, подлежащие освоению, расположены в труднодоступных местах, где нет никаких транспортных путей, кроме малых и средних рек, которые весьма эффективно могут быть использованы для транспортировки лесоматериалов в плотках. В верховьях же этих рек России запасы деловой древесины достигают 1,5 ... 1,8 млрд м<sup>3</sup>.

Особенности географического положения внутренних потребителей древесного сырья, наличие естественных водных путей, экологическая безопасность водного транспорта леса, сравнительно небольшие затраты на его восстановление и последующее развитие делают этот вид транспорта основным, а во многих случаях единственно возможным для значительного увеличения поставок круглого леса на внутренний и даже внешний рынки.

В ОАО «ЦНИИлесосплава» по поручению ОАО «Кареллеспром» были выполнены исследования по оценке экономической эффективности транспортировки леса в плотках, судах и автомобильным транспортом от пунктов Пяльма и Подпорожье до г. Кондопоги. Стоимость перевозки 1 м<sup>3</sup> древесины в плотках оказалась равной 62,5, в судах – 203,9 и автотранспортом – 400,7 р. Аналогичные данные получены финскими экспертами при выполнении такой же работы независимо от ОАО «ЦНИИлесосплава».

Для других лесных регионов результаты могут меняться, но общая тенденция преимуществ перевозок лесоматериалов в плотках над другими видами транспорта всегда сохраняется.

Поэтому ОАО «Кареллеспром» при научно-техническом участии ОАО «ЦНИИлесосплава» приступил к восстановлению поставок лесоматериалов в плотках на ОАО «Кондопога». Развиваются плотковые перевозки леса и в Архангельской области, где навигационный объем этого вида сплава превысил 1 млн м<sup>3</sup>.

Однако возрождение транспорта леса в плотках происходит с большими трудностями. Так, на согласование с государственными органами технической документации на плоты и производственно-технический проект, а также на получение лицензии на водопользование ОАО «Кареллеспром» затратил более двух лет. И это в регионе, где до 1992 г. объем плотковых перевозок превышал 1,6 млн м<sup>3</sup>. Небольшие лесосплавные предприятия находятся в еще более тяжелых условиях.

В 2004 г. в ОАО «ЦНИИлесосплава» завершены исследования по обоснованию и разработке экологически безопасной технологии плоткового лесосплава с верховьев малых и средних рек. Из-за ограниченного объема финансирования удалось проанализировать материал лишь по нескольким лесным регионам России. Полученные результаты убедительно показали возможность освоения новых лесных массивов с использованием малых и средних рек как основных транспортных путей для доставки лесоматериалов в плотках лесоперерабатывающим предприятиям. Аналогичные исследования выполнены и в Архангельском государственном техническом университете. Ученые этого вуза разработали новые конструкции транзитных плотов малой и переменной осадки для малых и средних рек, при сплаве по которым расстояние от лесосек до приемных складов не превысит 40 ... 50 км. Эти выводы подтверждены учеными С.-Петербургской государственной лесотехнической академии.

Безусловно, такие исследования необходимо продолжать с привлечением ОАО «Лесинвест» и Государственного научного центра лесопромышленного комплекса, их результаты станут основой для разработки государственной программы освоения новых лесных массивов.

Весьма весомым источником пополнения сырья для отрасли без увеличения объема лесозаготовок является затонувшая и затопленная древесина, объем которой превышает 30 млн м<sup>3</sup>. Это позволило бы длительное время обеспечивать сырьем лесоперерабатывающие предприятия. Доля деловой древесины в «топляке» возрастает от 40 ... 53 % в европейской части до 70 ... 77 % на Дальнем Востоке.

Очистка водных путей от затонувшей и затопленной древесины с последующей переработкой на товарную продукцию дает возможность одновременно решить целый ряд важнейших экономических, экологических и социальных вопросов:

- восстановить экологическое равновесие в водных бассейнах, особенно там, где ранее проводился молевой лесосплав, и ввести в эксплуатацию эти транспортные пути;
- пополнить рыбные запасы водных объектов;

– увеличить объемы древесного сырья без возрастания объемов лесозаготовок, что особенно важно для европейской части России и Урала, где существенно сократились запасы спелой древесины;

– умножить валютный запас страны за счет реализации товарной продукции из освоенной древесины на внешнем рынке;

– обеспечить дополнительные рабочие места в этих регионах;

– существенно снизить затраты на транспортировку лесоматериалов потребителям.

Сотрудниками ОАО «ЦНИИлесосплава», С.-Петербургской лесотехнической академии, Архангельского технического и Сибирского технологического университетов, других организаций разработана технология и система машин для освоения затонувшей древесины, которая может быть успешно реализована на практике. Однако ни одна государственная структура (бывш. Минпромнауки РФ и Государственный научный центр ЛПК) не заинтересовались этой проблемой, и ученые России вынуждены постепенно передавать за рубеж серьезные научные разработки в этой области.

Для улучшения экологического состояния водных объектов проблему подъема и освоения затонувшей и затопленной древесины необходимо решить сегодня, не откладывая ее реализацию на отдаленную перспективу.

Таким образом, для успешного и скорейшего развития лесопромышленного комплекса России необходимы программы развития каждой подотрасли, включая такие важные направления, как освоение новых лесных массивов, дополнительных источников древесного сырья без увеличения объема заготовок в регионах с истощенным запасом спелой древесины, развитие водного транспорта леса.

Для разработки этих программ следует привлечь отраслевые научно-исследовательские, проектные и учебные институты с координацией работ Государственным научным центром ЛПК. Эти программы должны базироваться на единой Правительственной программе развития лесопромышленного комплекса России при обязательном контроле со стороны государства.

ОАО «ЦНИИлесосплава»

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 06.05.05

*K. B. Sokolov, A.N. Minaev, M.M. Ovchinnikov,  
V.I. Patyakin, V.B. Olofinsky, E.M. Gusejnov*

### **Water Transport of Wood as Economic and Ecological Constituents of Development for Wood-industrial Complex of Russia**

Modern state of wood-industrial complex of Russia is analyzed; necessity of using water transport for wood materials delivery to consumer is substantiated.

УДК 674.06:006.44

*А.Ю. Климов*

Климов Алексей Юрьевич родился в 1973 г., окончил в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, директор по экономике и финансам ООО ПКП «Титан», аспирант кафедры менеджмента АГТУ. Имеет 6 печатных работ по проблемам развития лесной сертификации в Архангельской области.



### **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ДОБРОВОЛЬНОЙ ЛЕСНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ**

**(на примере предприятий Архангельской области)**

На основе рентного метода оценки природных ресурсов предложена методика оценки экономической эффективности сертификационных мероприятий. Проведен анализ развития добровольной лесной сертификации в Архангельской области с учетом фактора сертификационного риска, рассчитана экономическая эффективность и сроки окупаемости затрат крупнейших лесных холдингов на сертификацию.

*Ключевые слова:* лесная сертификация, сертификационный риск, ЛПК Архангельской области, экономическая эффективность.

Добровольная лесная сертификация обладает комплексом признаков, позволяющих воспринимать ее как совокупность процессов преобразования действующей системы лесопользования до уровня современных требований к устойчиво управляемому лесному предприятию. По своему экономическому содержанию сертификация сочетает в себе и единовременные долгосрочные финансовые вложения (инвестиции), направленные на увеличение общей доходности лесного предприятия, и текущие расходы, обеспечивающие непрерывную поддержку самого процесса. Как любые инвестиции, вложения в сертификацию сопровождаются коммерческим риском, связанным с вероятностью потери части или всей ожидаемой выгоды. Следовательно, эффективность сертификации уместно рассматривать с точки зрения эффективности вложенных в нее средств.

Специфика добровольной сертификации такова, что ее можно считать самостоятельным процессом, который влияет на общие финансовые результаты и обусловлен собственными конечными целями и внутренним содержанием. Наличие сертификата FSC на лесопroduкцию не отражается на ее количественных и качественных характеристиках. Сертификат выступает подтверждением того, что данная продукция получена из устойчиво управляемых лесов, а это, в свою очередь, способствует повышению конкурентоспособности самого предприятия, привлекательности его продукции, улучшению экологического имиджа и т. д. Сертификат, выданный аккредитованной в FSC аудиторской организацией, открывает доступ к экологически чувствительным нишам рынка лесной продукции, появление и стреми-



тельное расширение которых обусловлено повышением ответственности конечных потребителей перед будущими поколениями.

Данное понимание добровольной сертификации позволяет исследовать ее отдельно от протекающих технологических процессов на любом лесном предприятии, которое, не изменяя существующего комплекса машин и оборудования, может производить как несертифицированную, так и сертифицированную продукцию. При этом все дополнительные выгоды от сертификации и понесенные затраты могут быть описаны внутри собственной замкнутой системы, что позволяет точнее оценить эффективность самой сертификации и определить срок окупаемости связанных с ней финансовых вложений. Наиболее очевидной выгодой от сертификации является существующая в настоящее время дополнительная надбавка (премия), которая представляет собой разницу между ценами, предлагаемыми покупателями за сертифицированную и несертифицированную продукцию.

Разработанная нами методика оценки экономических последствий сертификационных мероприятий построена на основе общей формулы оценки лесной ренты, которая характеризует всю многогранность системы лесопользования, состоящей из отдельных происходящих и вероятных экономических процессов, включая и процесс сертификации. Она позволяет определить доходность и самой сертификации ( $R^s$ ) как составляющей процесса лесопользования:

$$R^s = \sum_{t=0}^T \frac{D_t^s - C_t^s - K_t^s - P_t^s}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

где  $T$  – период оценки ( $t = 0, 1, 2, 3, \dots, T$ );

$D_t^s$  – годовой доход, получаемый в виде суммы денежных выгод от реализации сертифицированной лесопродукции в  $t$ -м году, р.;

$C_t^s$  – совокупные ежегодные затраты на подтверждение сертификата, осуществляемые в  $t$ -м году, р.;

$K_t^s$  – единовременные затраты на сертификационные мероприятия, осуществляемые в  $t$ -м году эксплуатации лесных ресурсов, р.;

$P_t^s$  – показатель, учитывающий сертификационный риск в  $t$ -м году;

$r$  – принимаемая ставка дисконтирования.

Такой подход применим и для соизмерения затрат и выгод во времени [1, 2].

Современные ставки дисконта, используемые международными организациями, многими банками, достаточно высоки и составляют 8 ... 12 %. Нами принята ставка 10 %.

Формула (1) указывает на необходимость учета сертификационного риска – показателя, обусловленного вероятностью сокращения ожидаемых доходов в части дополнительной надбавки за сертифицированную лесную продукцию. Экономический смысл понятия «сертификационный риск» заключается в вероятном наступлении события, когда спрос и предложение

сертифицированной лесопродукции будут сбалансированы и потребители перестанут платить премию исключительно только за наличие сертификата.

Сертификационный риск в  $t$ -м году, учитываемый при расчете доходности лесной сертификации, определяют по формуле

$$P_t^s = D_t^s B_t^s, \quad (2)$$

где  $B_t^s$  – вероятность наступления сертификационного риска в  $t$ -м году расчетного периода, доли единицы.

Величина  $B_t^s \rightarrow 0$  при благоприятной для лесных предприятий конъюнктуре, когда рынок испытывает острый дефицит предложения сертифицированной лесопродукции и размер премии на нее максимален, и  $B_t^s \rightarrow 1$ , когда спрос и предложение сертифицированной продукции сбалансированы.

В настоящее время достоверная оценка сертификационного риска вызывает затруднения, поскольку лесная сертификация, получившая развитие в России только с 1998 г., не накопила еще достаточной информации о степени варьирования премии за сертифицированную продукцию. Можно лишь с большой степенью неопределенности предполагать, что в связи с дефицитом сертифицированной лесопродукции  $0 \leq B_t^s \leq 1$ , т. е. дополнительные надбавки к цене за наличие сертификата на рынке существуют, но не все покупатели готовы их предлагать.

В то же время нельзя исключать вероятности наступления события, когда при насыщении рынка сертифицированной продукцией спрос на не сертифицированную продукцию, а соответственно и цены, снизятся. Тогда премия за наличие сертификата в том виде, как она существует в настоящий момент, трансформируется в скидку за отсутствие сертификата. Таким образом, дифференцированный ценовой подход к продукции будет сохраняться до тех пор, пока вся продукция не станет сертифицированной.

Кроме премии к цене за сертифицированную лесопродукцию, которая поддается денежной оценке на основе уже накопленной статистической информации, сертификация несет лесному предприятию и массу других прямых и косвенных выгод, совокупность которых можно представить формулой

$$D^s = \sum_{n=0}^n D_1^s + D_2^s + D_3^s + \dots + D_n^s, \quad (3)$$

где  $D^s$  – совокупный дополнительный доход, полученный в результате сертификации, р.;

$D_1^s, D_2^s, D_3^s, \dots, D_n^s$  – прямые и косвенные поддающиеся денежной оценке доходы, связанные с внедрением лесной сертификации;

$n$  – число видов прямых и косвенных выгод.

Вопрос о стоимости выполняемых работ – ключевой при внедрении системы лесной сертификации в России. Единовременные затраты на про-

ведение сертификации зависят от трех основных составляющих: стоимости услуг сертифицирующей аудиторской компании; затрат на доведение существующего уровня лесопользования до требований, установленных принципами сертификационной системы (Forest Management); затрат на сертификацию производственной цепочки движения сертифицированной продукции от лесозаготовки до конечного потребителя (Chain-of-Custody) [3].

Стоимость услуг сертифицирующей компании на проведение предварительного и основного аудита зависит от площади лесных участков, подлежащих сертификации, а также от полноты учета параметров качества лесопользования на предприятии. В одних случаях сертификация может осуществляться по упрощенной схеме (например, некоторые принципы и/или индикаторы сертификации могут не рассматриваться из-за отсутствия объекта оценки), в других – носить более детализированный характер. Затраты на улучшение ведения лесного хозяйства и лесопользования, а также сертификацию производственной цепочки движения сертифицированной лесопродукции дополняют общую структуру затрат предприятия и напрямую связаны с перестройкой методов работы лесного предприятия в соответствии с требованиями систем сертификации. Эти требования раскрыты в базовых принципах и индикаторах, определяющих признаки устойчивого лесопользования.

Совокупность всех одновременных затрат на проведение лесной сертификации ( $K^s$ ) может быть представлена формулой

$$K^s = A^s + \sum_{n=0}^n Z_n^s + \sum_{m=0}^m V_m^s, \quad (4)$$

где  $A^s$  – прямые затраты на оплату услуг сертифицирующей аудиторской компании (аккредитационные платежи аудиторской компании в FSC, оплата труда экспертов, командировочные расходы и др.) р.;

$Z_1^s, Z_2^s, \dots, Z_n^s$  – прямые и косвенные затраты на приведение существующей системы лесопользования в соответствие с требованиями принципов FSC (Forest Management), р.;

$V_1^s, V_2^s, \dots, V_m^s$  – прямые и косвенные затраты на сертификацию производственной цепочки движения лесопродукции от сертифицированного лесозаготовителя до конечного потребителя (Chain-of-Custody), р.;

$n, m$  – число видов затрат, поддающихся денежной оценке, соответственно при сертификации лесопользования и производственной цепочки.

Наряду с одновременными затратами инвестиционного характера процесс сертификации предусматривает также и ежегодные затраты на поддержание сертификационного статуса предприятия (показатель  $C^s$  из формулы (1), в том числе на непрерывный внутренний мониторинг и оплату услуг сертифицирующей организации по ежегодному контрольному аудиту.

Таким образом, разработанная на основе рентного метода оценки лесных ресурсов наша методика позволяет исследовать сертификацию как самостоятельный процесс в общей системе финансово-хозяйственных отношений лесного предприятия, а также является необходимым инструментом планирования и последующего анализа ожидаемых и фактических результатов от сертификационных мероприятий.

Априори оценка сертификационного риска возможна с большой степенью неопределенности. В процессе изучения экономических последствий сертификационных мероприятий нами предложена и применена на практике методика оценки существующего в настоящее время сертификационного риска для лесных холдингов Архангельской области на основе аналитических данных самих предприятий об объемах поставки FSC-сертифицированных пиломатериалов, предусмотренных контрактами, и размера премии за наличие сертификата. Результаты расчета средневзвешенной премии за поставку FSC-сертифицированных пиломатериалов холдингами А, В и С в 2005–2006 гг. приведены в таблице.

Страна	Объем поставки FSC-сертифицированных пиломатериалов по заключенным контрактам, тыс. м <sup>3</sup>	Доля контрактов, предусматривающих премию за FSC-сертифицированные пиломатериалы, %	Предлагаемый в контрактах размер премии за 1 м <sup>3</sup> сертифицированных пиломатериалов, евро	Средневзвешенная премия на 1 м <sup>3</sup> пиломатериалов, р.	
				предусмотренная контрактами	пересчитанная на весь объем поставки (с учетом контрактов, не предусматривающих премию)
Германия	52,5	24,3	7 ... 12	296,7	72,1
Великобритания	37,8	21,4	5 ... 10	215,6	46,1
Франция	14,5	14,6	5 ... 8	188,9	27,6
Италия	9,6	11,5	5 ... 8	202,2	23,2
Испания	8,3	7,1	5	172,5	12,2
Дания	6,6	17,5	3	103,5	18,1
Австрия	5,4	5,5	3 ... 5	141,5	7,8
Другие страны, объем поставки в которые составил менее 5 тыс. м <sup>3</sup>	18,8	12,5	3 ... 8	207,0	25,9
Итого	153,5	18,5	–	229,2	42,5

Из таблицы следует, что средневзвешенная премия за поставку FSC-сертифицированных пиломатериалов по экспортным контрактам, переданным в производство, составила 229,2 р. на 1 м<sup>3</sup>. Таблица позволяет выделить и рассчитать сертификационный риск – показатель  $P^s$  из формулы (2). Из статистического анализа совокупностей полученных нами данных о наличии и величине премии за сертифицированные пиломатериалы установлено, что доля контрактов, предусматривающих наличие премии, составляет 18,5 %. Это означает, что 81,5 % покупателей сертифицированных пиломатериалов не намерены платить премию за наличие сертификата FSC на конечную продукцию (показатель  $B^s = 0,815$  из формулы (2)). Таким образом, сертификационный риск на 1 м<sup>3</sup> сертифицированных пиломатериалов для предприятий А, В и С составляет:

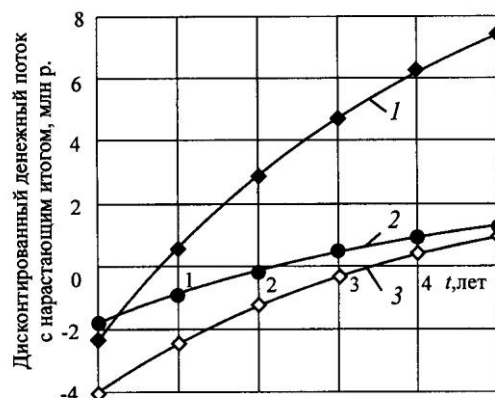
$$P^s = D^s B^s = 229,2 \cdot 0,815 = 186,7 \text{ р.}$$

При этом средневзвешенная премия, приходящаяся на 1 м<sup>3</sup> произведенных сертифицированных пиломатериалов и учитывающая величину сертификационного риска, равна  $229,2 - 186,7 = 42,5$  р.

Рассчитанная таким образом средневзвешенная премия на 1 м<sup>3</sup> произведенных сертифицированных пиломатериалов является ключевым показателем, определяющим материальную выгоду, полученную холдингами А, В и С непосредственно как результат проведенных сертификационных мероприятий.

С учетом значительных единовременных и текущих затрат и неясной величины премии экономическая эффективность сертификационных мероприятий не является очевидной. Однако конкретные аналитические расчеты на основе нашей методики по трем холдингам Архангельской области позволили дать количественную оценку результатов, которая показала, что лесная сертификация в достаточной степени эффективна в среднесрочной перспективе. В качестве анализируемого периода времени был принят срок действия сертификата FSC – 5 лет. Результаты исследований представлены на рисунке.

Сроки окупаемости затрат на сертификацию холдингов А(1), В(2) и С(3)



Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что по предприятиям А, В и С добровольная лесная сертификация обеспечивает экономический эффект в виде дополнительного дохода холдингов, полученного, главным образом, за счет премии за сертифицированную лесопroduкцию. При этом срок окупаемости затрат на сертификационные мероприятия с учетом фактора времени варьирует от 1 до 3 лет. Различия в сроках окупаемости по предприятиям обусловлены рядом ключевых факторов.

1. Площадь сертифицированных лесных участков наибольшая у холдинга С (1,7 против 0,6 млн га у холдинга А и 0,3 млн га у холдинга В), следовательно, и затраты на оплату услуг аудиторской компании у холдинга С наибольшие.

2. Объем заготовки и реализации продукции сертифицированными леспромпхозами наибольший у холдинга А (564,5 против 270,2 тыс. м<sup>3</sup> у холдинга В и 292,3 тыс. м<sup>3</sup> у холдинга С), следовательно, при сравнимых показателях объемной доли пиловочника в общем объеме реализации холдинг А вырабатывает больше сертифицированных пиломатериалов.

Таким образом, добровольная лесная сертификация имеет доказанный положительный экономический эффект как минимум по совокупности изученных предприятий, что с учетом их масштабов позволяет распространить это утверждение и на другие предприятия лесного сектора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болвинов, А.А. Оценка эффективности инвестиций на реализацию экологических проектов [Текст] / А.А. Болвинов // Лесн. вестн. – 2002. – № 5. – С. 158–161.
2. Оценка природных ресурсов [Текст]: учеб. пособие / под ред. В.П. Антонова, П.Ф. Лойко. – М.: Ин-т природных ресурсов, 2000. – 470 с.
3. Русова, И.Г. Определение стоимости работ по лесной сертификации [Электронный ресурс] / И.Г. Русова [и др.]. – [http://www.forest.ru /rus/sustainable\\_forestry/certification/stoim.html](http://www.forest.ru /rus/sustainable_forestry/certification/stoim.html).

ООО ПКП «Титан»

Поступила 05.10.06

*A.Yu. Klimov*

#### **Economic Assessment of Voluntary Forest Certification Processes (Based on Enterprises of Arkhangelsk Region)**

Based on renting method of natural resources assessment the technique of economic efficiency assessment of certification measures is suggested. The analysis of voluntary forest certification development in the Arkhangelsk region has been carried out taking into account the factor of certification risk, its economic efficiency and payback terms for certification costs of the biggest forest holdings.



УДК 630\*323.7

**Р.С. Хамитов**

Хамитов Ренат Салимович родился в 1980 г., окончил в 2002 г. Вологодскую государственную молочно-хозяйственную академию, аспирант кафедры лесного хозяйства ВГМХА. Имеет 2 печатные работы в области ускоренного выращивания семян кедров сибирского.

**СТИМУЛЯЦИЯ ГРУНТОВОЙ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН  
КЕДРА СИБИРСКОГО ПРЕПАРАТОМ «ГУМАТ+7»**

Приведены результаты трехлетних исследований влияния стимулятора роста «Гумат+7» на грунтовую всхожесть семян кедров сибирского.

*Ключевые слова:* стимуляторы роста, Гумат+7, кедр сибирский.

Стимуляция грунтовой всхожести семян кедров в зоне интродукции, куда они поступают в поздние сроки, – задача весьма актуальная. В центральных областях России подобные исследования проводили И.И. Дроздов [1], Ю.С. Пентелькина [3], в зоне естественного ареала – Р.Н. Матвеева и О.Ф. Буторова [2]. Широко изучено действие таких стимуляторов роста, как гетероауксин, гиббереллин, Фумар, СИЛК и др. Химическая промышленность страны предлагает новые стимуляторы роста, вырабатываемые из отходов производства, но экологически безопасные, влияние которых на всхожесть семян кедров еще не изучено. Одним из таких препаратов является «Гумат+7». Его стимулирующий эффект основан на действии солей гуминовых кислот, которые, растворяясь в воде, образуют гуминовые комплексы, являющиеся биологически активными веществами. Стимулятор роста «Гумат+7» содержит соли гуминовых кислот целого ряда микроэлементов (В, Сu, Fe, Со, Mn), а также азот и калий.

В 2004 г. на базе теплично-питомнического участка Вологодского селекцентра нами произведены поисковые опыты по предпосевной подготовке семян кедров сибирского, цель которых – испытать действие стимулятора роста «Гумат+7» на их всхожесть. Было установлено, что обработка семян этим стимулятором в концентрации 0,01 % значительно повышает их всхожесть, а увеличение концентрации до 0,1 % оказывает ингибиторное действие, снижая грунтовую всхожесть.

В 2005 г. заложен основной опыт для уточнения концентрации раствора «Гумат+7», оптимальной для стимуляции всхожести семян кедров сибирского. Семена обрабатывали растворами семи концентраций: 0,001; 0,005; 0,01; 0,015; 0,025; 0,05 и 0,075 %. Затем в течение двух месяцев их стратифицировали в снежной куче.

В результате исследований установлено, что при использовании препарата «Гумат+7» в концентрациях 0,005 и 0,01 % значительно увеличивается грунтовая всхожесть семян кедра. Если в первый год она была невысокой во всех вариантах, что обусловлено скорее всего непродолжительным периодом стратификации, то во второй год в указанных вариантах превышала контроль (30,1 шт./ м) на 50 и 62 % соответственно.

Таким образом, обработка семян кедра сибирского стимулятором роста «Гумат+7» в концентрации 0,005 ... 0,01 % с последующей стратификацией, значительно увеличивая грунтовую всхожесть, позволяет сократить расход семян и площади посевов, а положительные результаты исследований расширяют список эффективных, экологически безопасных стимуляторов роста, используемых в лесосеменном деле.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов, И.И. Исследования по выращиванию сеянцев кедра сибирского в центральных областях европейской части РСФСР [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / И.И. Дроздов. – М.: МЛТИ, 1972. – 24 с.
2. Матвеева, Р.Н. Ускоренное выращивание сеянцев и культур кедра сибирского в Восточной Сибири [Текст] / Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова. – Красноярск: СибГТУ, 2001. – 254 с.
3. Пентелькина, Ю.С. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев хвойных видов [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Ю.С. Пентелькина. – М., 2003. – 23 с.

Вологодская государственная  
молочно-хозяйственная академия

*R.S. Khamitov*

#### **Soil Germination Stimulation of Siberian Cedar Seeds by “Gumat+7” Agent**

The results of three-year research related to the influence of the growth stimulating agent “Gumat+7” on the soil germination of Siberian cedar seeds are provided.





УДК 630\*111(571.6)

*Г. В. Соколова*

Соколова Галина Вадимовна родилась в 1948 г., окончила в 1971 г. Дальневосточный государственный университет (г. Владивосток), кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесной экологии, охраны и защиты леса Дальневосточного НИИ лесного хозяйства. Имеет 85 печатных работ в области анализа, оценки и прогноза условий возникновения природных явлений, включая лесные пожары и эколого-климатические аспекты функционирования дальневосточных лесов.



## **ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ПОГОДУ**

Установлено, что крупные пожары оказывают влияние не только на лесные экосистемы, но и на перенос воздушных масс в случае обширного задымления атмосферы в регионе Восточная Сибирь – Дальний Восток.

*Ключевые слова:* лесные пожары, лесные экосистемы, задымление атмосферы.

Крупные лесные пожары возникали на земле с древних времен. Но они вписывались в законы природы, т. е. происходили в пределах устойчивости той земной растительной структуры, которая сложилась к периоду возникновения и формирования современной человеческой цивилизации. Поначалу лесные пожары в определенной мере выполняли даже позитивную роль: повышалась концентрация углекислого газа в воздухе, ускоряя рост деревьев, почва удобрялась древесной золой, уничтожались отмершие завалы и больные деревья, сжигались насекомые-вредители и т. д.

Первые антропогенные пожары на юге Дальнего Востока России начали возникать со времен появления здесь древних людей. Но в те далекие времена лес выдерживал пожары. Гибнуть он стал от бессистемных рубок и массовых неконтролируемых сборов лесных продуктов. Если незатушенный костер или тлеющий окуроч при малейшем дуновении ветра приводили к пожару, то идеальная пища для огня создавалась при нарушении исконно сложившейся устойчивости тепловлажностного режима подпологовой среды кедрово-широколиственных лесов.

Потенциалом высокой стойкости к возникновению пожарной опасности по условиям погоды обладают лесные массивы, насыщенные влагой по всему объему растительного слоя. Примером может служить Гассинская орехопромысловая зона (ОПЗ), расположенная в Нанайском районе Хабаровского края и являющаяся последним крупным массивом кедровника площадью 55,5 тыс. га. На северном пределе формации она гарантированно обеспечивает сохранение тепловлажностной среды обитания растений. Бушевавший в Нанайском районе в 1974 г. крупный лесной пожар, приблизившись к Гассинской ОПЗ, самопроизвольно прекратился – огонь нейтрализовался влагой, которой был насыщен воздух под пологом, и буйной зеленью. Тем не менее, в Гассинскую ОПЗ входят с рубками, что может привести к уничтожению не только реликтового леса, но и реликтового климата. Ведь в результате рубок в кедрово-широколиственных лесах катастрофически оголяются

климатические убежища с тепловлажностным режимом, открывая доступ избыточной освещенности солнечными лучами, иссушающими подпологовую среду.

До 1978 г. обычной практикой лесного и сельского хозяйства были профилактические выжигания в лесах и сельскохозяйственные палы на тысячах квадратных километров. Из-за длительного задымления южные районы Хабаровского края в течение многих лет не получали до 1/3 нормы осадков [8]. Это приводило к загоранию ослабленных лесов. Задымленность атмосферы, достигнув крупных размеров синоптического масштаба (протяженность 700 ... 1000 км), оказывает влияние на развитие атмосферных процессов, перенос воздушных масс. Ежегодно в районы Восточной Сибири и Дальнего Востока весной и в начале лета поступают сухие запыленные массы воздуха из Средней Азии. При малых запасах влаги, слабом движении воздушных масс, наличии обширных (в значительной мере ослабленных) лесов создаются условия для возникновения пожаров в регионе.

9

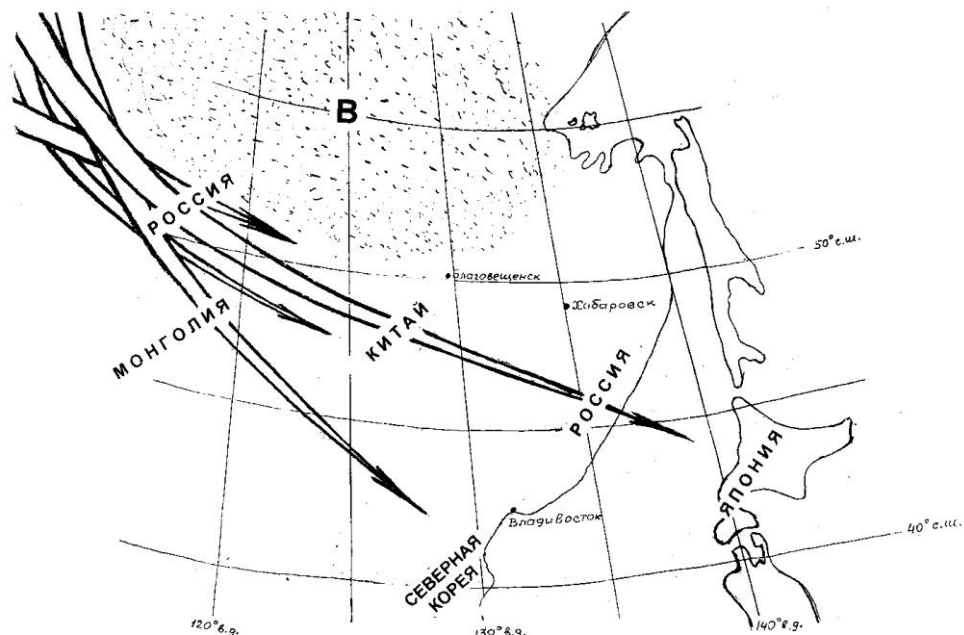


Схема траекторий циклонов, движущихся в обход устойчивой области повышенного давления (В), образовавшейся над горящими и дымищими лесами Дальнего Востока летом 1998 г.

При катастрофических (подобно 1998 г. на Дальнем Востоке) пожарах дымом насыщается атмосфера до высоты 7 ... 10 км, где сосредоточено более 50 % воздушной массы. В сформированном очаге дополнительного теплоприхода и задымления возникает область повышенного давления, которая диктует свои условия сопредельным территориям до конца лета. Сюда не смещаются циклоны, они идут в обход по югу, вызывая там обильные дожди (см. рисунок) [1, 2, 4–6, 9]. Во время лесных пожаров 1996 и 1998 гг. циклоны обходили задымленный регион крупных лесных пожаров с юга через Читинскую область, север Китая, обуславливая в бассейне р. Сунгари (правый крупный приток Амура на территории КНР) катастрофические наводнения с человеческими жертвами. В то же время левобережные притоки Амура под задымленной воздушной массой оставались маловодными.

Таким образом, изменение атмосферной циркуляции над горящими и дымящими лесами в регионе Восточная Сибирь – Дальний Восток вызвано также непродуманными действиями человека. Для предотвращения угрозы повторения крупномасштабных пожаров необходим строгий контроль за деятельностью человека в лесу. В настоящее время ученые занимаются выявлением конкретных климатических параметров, характеризующих ту или иную лесную формацию. Цель исследований – дать рекомендации по учету климатических факторов при освоении кедрово-широколиственных лесов, их противопожарном устройстве и прогноз показателей лесопожарной засухи [1, 6]. Правильность выбранного направления исследований подтверждается решением участников координационного совещания-семинара «Стратегия охраны лесов от пожаров», один из пунктов которого гласит: «Разработать систему долгосрочного (на 1 год и более) прогноза пожарной опасности в лесах» [7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколова, Г.В. Новая оценка эволюции обширных лесных пожаров Восточной Сибири и Дальнего Востока на основе учета атмосферных процессов [Текст] / Г.В. Соколова, Е.П. Тетерятникова // Переход к стратегии устойчивого управления лесами дальневосточного региона в XXI веке: материалы Междунар. семинара 19–21 сент. 2000 г. – Хабаровск: ИЭИ, 2000. – С. 99–102.
2. Соколова, Г.В. Отклик атмосферы на загрязнение дымом крупных лесных пожаров региона Восточная Сибирь – Дальний Восток России [Текст] / Г.В. Соколова, Е.П. Тетерятникова // Экология кризисных регионов Украины: тез. докл. Междунар. конф. 17–20 сент. 2001 г. – Днепрпетровск: РВВ ДНУ, 2001. – С. 108.
3. Соколова, Г.В. Прологомены к анализу и долгосрочному прогнозу лесопожарной засухи на Дальнем Востоке [Текст] / Г.В. Соколова // Динамика и состояние лесных ресурсов Дальнего Востока: материалы регион. конф., дек. 2002 г. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2002. – С. 123–126.
4. Соколова, Г.В. Об устойчивости лесопожарной засухи в случае обширного задымления атмосферы [Текст] / Г.В. Соколова, Е.П. Тетерятникова // Регионы нового освоения: состояние, потенциал, перспективы в начале третьего тысячелетия: материалы Междунар. науч. конф. 25–27 сент. 2002 г. – Хабаровск, 2002. – Т. 2. – С. 101–104.
5. Соколова, Г.В. Состояние атмосферы над горящими и дымящими лесами Дальнего Востока [Текст] / Г.В. Соколова, Е.П. Тетерятникова // Тез. докл. участников совещания-семинара по решению лесопожарных проблем 18–20 дек. 2001 г. – Спб.: СПбНИИЛХ, 2002. – С. 56–59.
6. Соколова, Г.В. Атмосферные возмущения в зоне действия крупных лесных пожаров и возможность долгосрочного прогнозирования экологических последствий [Текст] / Г.В. Соколова, Е.П. Тетерятникова // Тр./ ФГУ ДальНИИЛХ. – 2003. – Вып. 36. – С. 144–150.
7. Тезисы докладов участников совещания-семинара по решению лесопожарных проблем [Текст]. – Спб.: СПбНИИЛХ, 2002. – 80 с.
8. Телицын, Г.П. Лесные пожары, их предупреждение и тушение в Хабаровском крае [Текст] / Г.П. Телицын. – Хабаровск: Хабаров. кн. изд-во, 1988. – 96 с.
9. Тетерятникова, Е.П. Проблемы долгосрочных гидрологических прогнозов в бассейне р. Амур на основе учета аэросиноптических материалов [Текст] / Е.П. Тетерятникова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 104 с.

ФГУ ДальНИИЛХ

*G. V. Sokolova*

**Influence of Forest Fires on Weather**

---

---

It is found out that big fires exert influence not only on forest ecosystems but also on air masses transfer in case of vast smoke formation of the atmosphere in the region of Eastern Siberia – the Far East.

---

---

УДК 674.093.26

*Г.А. Шепель, В.Ф. Надеин, Н.С. Кабеева*

Шепель Георгий Александрович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Ленинградское высшее инженерное морское училище, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехники и энергетических систем Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент Академии электротехнических наук Российской Федерации. Имеет более 110 печатных работ в области электротехнологии и электрификации.



Кабеева Надежда Сергеевна родилась в 1980 г., окончила в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры электротехники и энергетических систем АГТУ. Имеет 6 печатных работ в области индукционного нагрева.



## **ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ВХОДЕ В КАЛОРИФЕР ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Предложен способ регулирования температуры теплоносителя на входе в калорифер лесосушильной камеры на основе индукционного нагрева; рассмотрена методика расчета параметров процесса нагрева теплоносителя в индукционном нагревающем устройстве.

*Ключевые слова:* индукционное нагревающее устройство, стабилизатор температуры теплоносителя, коэффициент теплоотдачи, коэффициент теплопроводности.

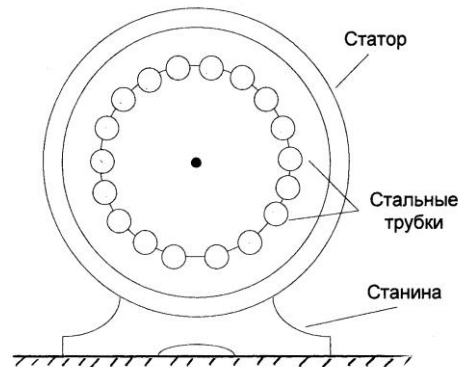
Для обеспечения качественной сушки древесины необходимо в соответствии с заданным режимом точно поддерживать параметры агента сушки (влажный воздух, топочные газы, перегретый пар) [1].

Таковыми параметрами являются: температура, влажность, скорость движения агента сушки (АС) через штабель.

Температура и влажность зависят от степени нагрева АС в калориферах лесосушильной камеры (ЛСК) и особенностей процессов теплообмена между АС (воздух, пар) и подвергаемой сушке древесиной, а скорость движения АС определяется производительностью вентиляторов.

Теплоносителем в калориферах ЛСК чаще всего выступает вода или водяной пар, от температуры которых напрямую зависит температура АС. Следовательно, для стабилизации температуры АС необходимо поддерживать строго определенную температуру теплоносителя на входе в калорифер ЛСК.

Практика показывает, что вода, предварительно нагретая в котельной, имеет разброс температур 15 °С, что недопустимо. Для поддержания требуемого технологического режима сушки необходим стабилизатор температуры воды на входе в калорифер, в качестве которого предложено использовать трехфазное индукционное нагревающее устройство (ИНУ) [2].



Принципиальная схема ИНУ

ИНУ представляет собой неподвижный статор, создающий вращающееся магнитное поле. В полости статора помещены 18 стальных трубок (см. рисунок). Они соединены между собой последовательно, и вода, нагреваемая в ИНУ, проходит их все. С позиций электротехники трубки представляют собой короткозамкнутый заторможенный ротор.

Принцип действия ИНУ состоит в следующем: при подаче напряжения на индуктор в обмотках статора возникает электрический ток, который создает вращающееся магнитное поле. Линии магнитного поля пересекают трубки в полости статора. Согласно закону электромагнитной индукции такое магнитное поле влечет за собой возникновение наведенных вихревых токов, которые нагревают трубки по закону Джоуля–Ленца.

Преимущества индукционного нагрева:

гибкость и высокая точность управления из-за малой инерционности процесса;

возможность точного дозирования энергии и наличие нескольких каналов управления;

возможность регулирования пространственного расположения зоны протекания вихревых токов: глубина зоны их циркуляции и, следовательно, зоны выделения энергии зависит от частоты тока индуктора (увеличивается при низких частотах и уменьшается при высоких);

обеспечение высокой производительности и хороших санитарно-гигиенических условий труда.

Основная задача ИНУ – поддержание неизменной температуры воды на выходе при колебаниях температуры на входе. Температура на выходе определяется следующими условиями: температурой воды на входе в ИНУ и на внутренней поверхности стенок трубок; скоростью движения воды по трубкам.

Для поддержания требуемой температуры на выходе можно варьировать скорость течения воды и температуру внутренней поверхности стенок. Поскольку первый показатель зависит от производительности насоса, а не от параметров ИНУ, то его влияние рассматривать не будем. Остановимся на температуре внутренней поверхности стенок трубок. Чтобы ее рассчитать, воспользуемся законом Ньютона–Рихмана [4]:

$$q = \alpha(t_{\text{ст}} - t_{\text{ж}}), \quad (1)$$

где  $q$  – плотность теплового потока от трубки к воде, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $t_{ст}$  – температура внутренней поверхности стальной трубки, °С;  
 $t_{ж}$  – температура воды, °С.

Отсюда

$$t_{ст} = \frac{q}{\alpha} + t_{ж}.$$

В этой формуле неизвестна плотность теплового потока  $q$  и величина коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ .

Плотность теплового потока  $q$  в формуле (1) определим следующим образом:

$$q = \frac{Q}{S}. \quad (2)$$

Здесь  $Q$  – тепловой поток, Вт;

$S$  – площадь, м<sup>2</sup>, внутренней поверхности стальных трубок,

$$S = n\pi d_{вн} l;$$

$n$  – количество трубок,  $n = 18$ ;

$d_{вн}$  – внутренний диаметр трубок, м;

$l$  – длина трубок, м.

Коэффициент  $\alpha$  в формуле (1) можно найти по критерию Нуссельта:

$$Nu = \frac{\alpha d_{вн}}{\lambda_{ж}}, \quad (3)$$

где  $\lambda_{ж}$  – коэффициент теплопроводности воды (определяют по таблицам), Вт/(м·К).

Тогда

$$\alpha = \frac{Nu \lambda_{ж}}{d_{вн}}.$$

Критерий Нуссельта характеризует интенсивность теплообмена при теплоотдаче. Его величину определяем по критерию Рейнольдса, исходя из характеристики течения:

$$Re = \frac{v d_{вн}}{\nu}, \quad (4)$$

где  $v$  – скорость течения жидкости, м/с;

$\nu$  – вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с.

В формуле (4) неизвестна скорость течения теплоносителя по трубкам. Для ее определения используем выражение для теплового баланса ИНУ:

$$G = \frac{Q}{C(t_{н} - t_{к})}, \quad (5)$$

где  $G$  – расход теплоносителя, кг/с;

$C$  – теплоемкость воды, Дж/(К·кг);

$t_{н}$ ,  $t_{к}$  – температура воды, соответственно до и после ИНУ, К.

Тогда скорость теплоносителя

$$v = \frac{G}{\rho F} = \frac{4G}{\rho \pi d_{вн}^2}. \quad (6)$$

Здесь  $\rho$  – плотность воды (определяется по таблицам),  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $F$  – площадь поперечного сечения трубки,  $\text{м}^2$ .

Критерий Нуссельта для ламинарного течения рассчитываем по формуле

$$\text{Nu} = 0,33 \text{Re}^{0,5} \text{Pr}_{\text{ж}}^{0,43} \left( \frac{\text{Pr}_{\text{ж}}}{\text{Pr}_{\text{ст}}} \right)^{0,25} \left( \frac{x}{d} \right)^{0,1}, \quad (7)$$

где  $\text{Pr}_{\text{ж}}$  – число Прандтля для жидкости;

$\text{Pr}_{\text{ст}}$  – число Прандтля для стенки трубки;

$x$  – расстояние от начала трубки до рассматриваемого сечения.

В формуле (5) величина  $Q$ , представляющая собой тепловой поток от трубки к теплоносителю, равна полезной (активной) мощности индуктора, т. е.  $Q = P_2$ .

Энергия, вводимая в нагреваемое тело, определяется через мощность, выделяющуюся в стальной трубке на 1 м ее длины. Для активной мощности

$$P_2 = 6,2 \cdot 10^{-6} (IW)^2 d_0 \sqrt{\rho \mu f} F_{\text{оц}}, \quad (8)$$

где  $I$  – электрический ток;

$W$  – число витков;

$d_0$  – диаметр трубки, м;

$\rho$  – удельное сопротивление нагреваемого материала (сталь);

$\mu$  – магнитная проницаемость стали;

$f$  – частота поля;

$F_{\text{оц}}$  – сложный комплекс, образованный из функции Бесселя (определяется по таблицам и графикам) [3].

Таким образом, из формулы (8) видно, что энергия, вводимая в тело, пропорциональна следующим величинам: току индуктора, т. е. и приложенному напряжению; частоте магнитного поля, т. е. и частоте тока, его создающего.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что температуру нагреваемой в ИНУ жидкости можно регулировать за счет изменения величины и частоты напряжения, подаваемого на индуктор.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов, Е.С. Сушка пиломатериалов [Текст] / Е.С. Богданов. – М.: Лесн. пром-сть, 1988.
2. Болотов, А.В. Электротехнологические установки [Текст]: учеб. для вузов / А.В. Болотов, Г.А. Шепель. – М.: Высш. шк., 1988.
3. Кувалдин, А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали [Текст] / А.Б. Кувалдин. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
4. Ляшков, В.И. Теоретические основы теплотехники [Текст]: учеб. пособие / В.И. Ляшков. – М.: Машиностроение, 2002.

Архангельский государственный  
 технический университет

G.A. Shepel, V.F. Nadein, N.S. Kabeeva

#### Thermal Stabilization of Heat-carrier at Air Heater Entry of Timber Drying Plant

The temperature control method is offered for heat-carrier at the air heater entry of timber drying plant based on induction heating. The technique for calculating the process parameters for heat-carrier heating in the heat induction unit is considered.



ОУДК 624.011.14:624.042.1/3

*Б.В. Лабудин*

## **К ОБОСНОВАНИЮ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ КАК ОРТОГОНАЛЬНОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА**

С учетом классических гипотез, в основе которых лежит пакетная гипотеза, и принятых ограничений и допущений для расчета массивных конструкций из клееной древесины обоснована расчетная математическая модель клееной древесины как трансверсально-изотропного материала.

*Ключевые слова:* клееная древесина, расчетная математическая модель, анизотропия, трансверсально-изотропный материал, эффективный модуль упругости, энергетическая континуализация.

Исследованием физико-механических свойств древесины стали заниматься в XIX в. В своих первых работах Савар (1830) и Сен-Венан (1856) уже рассматривали древесину как неоднородный материал. Нормирование прочностных и упругих свойств, выполненное Д.И. Журавским и В.Г. Шуховым, обеспечивало широкое применение древесины в большепролетных сооружениях и зданиях самого различного назначения. Принципы построения гипотетической двумерной теории многослойных сред базируются на двух подходах: в первом принята пакетная гипотеза для всей толщины массива, во втором – гипотеза ломаной нормали. Реже для построения теории многослойных сред используют аналитический, в том числе асимптотический метод [1, 3, 9 – 11 и др.].

Исходя из физической модели цельной и клееной древесины как анизотропного материала со слоистой структурой при проведении расчетов необходимо ввести ряд ограничений и допущений: клееную древесину рассматривают как однородный (квазигомогенный) материал ввиду малой толщины клеевых прослоек, соединяющих слои заготовок древесины между собой; различие упругих характеристик в отдельных слоях клееной древесины, произвольно ориентированных в поперечном сечении пакета, находится в пределах статистического разброса, т. е. физико-механические свойства в пределах сечения осреднены; влияние локальных дефектов клееной древесины (сучки, косослой, непрочлей, зубчато-шиповые стыки и др.), находящиеся в пределах норм, не учитывают; компоненты напряжений и деформаций считают связанными линейно, т.е. материал подчиняется обобщенному закону Гука до определенного предела нагружения; начальные напряжения, возникающие при изменении эксплуатационных воздействий (температура, влажность и др.), также не учитывают, так как это предусмотрено, согласно норм [8], на стадии конструктивного расчета.

Общеизвестно, что для малых прямоугольных образцов, которые называют образцами «чистой» древесины, без пороков и ориентированных при отборе так, что их продольная  $x$ , тангенциальная  $z$  и радиальная  $y$  грани совпадают соответственно с осями упругой симметрии  $a$ ,  $t$ ,  $r$ , справедлива феноменологическая ортотропная модель (рис. 1). Она использовалась древесиноведами и механиками [2, 4 – 6] и имеет многочисленные экспериментальные подтверждения в работах А.Н. Митинского, А.А. Рабиновича, А.П. Павлова, Е.К. Ашкенази, Н.Л. Леонтьева, Б.Н. Уголева, Ю.С. Соболева и др. При этом кривизной слоев, а также соотношением в них количества ранней и поздней древесины пренебрегают.

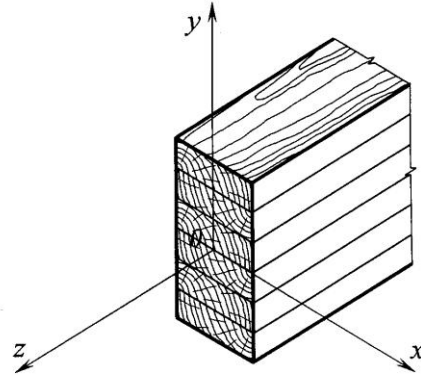
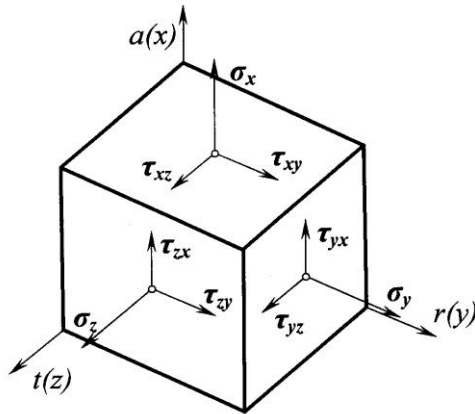


Рис. 1. Ориентация элементарного объема «чистой» древесины в декартовых осях  $x, y, z$ , совпадающих с осями упругой симметрии  $a, r, t$ , и обозначение напряжений

Рис. 2. Главные направления упругой симметрии клееного пакета как трансверсально-изотропного материала ( $x_0y_0$  – плоскость изотропии)

Запишем закон Гука для тел с ортогональной анизотропией в общепринятых обозначениях [2, 5]:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \nu_{yx} / E_y \bar{\sigma}_y - \nu_{zx} / E_z \bar{\sigma}_z; & \gamma_{xy} &= \nu_{xy} / G_{xy} \bar{\tau}_{xy}; \\ \varepsilon_y &= -\nu_{xy} / E_x \bar{\sigma}_x + \nu_{zy} / E_z \bar{\sigma}_z; & \gamma_{yz} &= \nu_{yz} / G_{yz} \bar{\tau}_{yz}; \\ \varepsilon_z &= -\nu_{xz} / E_x \bar{\sigma}_x - \nu_{yz} / E_y \bar{\sigma}_y + \nu_{zx} / E_z \bar{\sigma}_z; & \gamma_{zx} &= \nu_{zx} / G_{zx} \bar{\tau}_{zx}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\varepsilon_i, \gamma_{ij}$  – линейные и угловые деформации;

$E_i$  – модули продольной упругости (модули Юнга) при растяжении-сжатии в направлении оси  $i = x, y, z$ ;

$\nu_{ij}$  – коэффициенты поперечной деформации (коэффициенты Пуассона), характеризующие сокращение тела в направлении осей  $i$  при растяжении в направлении  $j$ ;

$G_i$  – модули сдвига в плоскостях упругой симметрии  $i0j$  ( $i = x, y, z; j = x, y, z$ ).

С учетом того, что  $E_x \nu_{xy} = E_y \nu_{yx}; E_x \nu_{xz} = E_z \nu_{zx}; E_y \nu_{yz} = E_z \nu_{zy}$ , из 12 технических постоянных независимыми будут только 9.

Рассмотрим склеенный пакет заготовок, продольно-ориентированных относительно тонких слоев, волокна которых совпадают с геометрической осью  $z$  (рис. 2). Учитывая, что поперечная ориентация слоев в пакете произвольна и специально ее не подбирают, случайное расположение деталей в пакете дает произвольный набор упругих характеристик в смежных слоях. Однако неясно, насколько справедливо использование для деревосклеенных элементов модели трансропного тела (плоскость изотропии перпендикулярна оси  $z$ ).

Анализ известных отечественных и зарубежных работ [2, 5–7] показал, что значения  $E_i$  и  $G_i$ , связанные с направлением действующих сил (для хвойных пород древесины), в тангенциальном и радиальном направлениях весьма близки. При этом трансропная модель материала клееной древесины успешно реализуется в нормах Австрии, Великобритании, Германии, Канады, Норвегии, США и др. стран.

В нашем случае к клееной древесине вполне применима модель трансверсально-изотропного тела, тем более, что это предположение обосновано в выше перечисленных работах.

Обозначим:

$$E_x = E_0; E_y = E_z = E_1; G_{xy} = G_{zx} = G_1; G_{yz} = G_0; \mu_{xy} = \mu_{xz} = \mu_0; \mu_{zx} = \mu_{yz} = \mu_1. \quad (2)$$

Запишем обобщенный закон Гука для трансропного материала в более простом виде:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \left( \frac{1}{E_0} \bar{\sigma}_x - \frac{\mu_1}{E_1} (\bar{\sigma}_y + \bar{\sigma}_z) \right); & \gamma_{xy} &= \left( \frac{1}{G_1} \bar{\tau}_{xy} \right); \\ \varepsilon_y &= -\frac{\mu_0}{E_0} \bar{\sigma}_x + \left( \frac{1}{E_1} \bar{\sigma}_y - \frac{\mu_1}{E_1} \bar{\sigma}_z \right); & \gamma_{yz} &= \left( \frac{1}{G_0} \bar{\tau}_{yz} \right); \\ \varepsilon_z &= -\frac{\mu_0}{E_0} \bar{\sigma}_x - (\mu_1/E_1) \bar{\sigma}_y + \left( \frac{1}{E_1} \bar{\sigma}_z \right); & \gamma_{zx} &= \left( \frac{1}{G_1} \bar{\tau}_{zx} \right). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь число независимых упругих постоянных  $a_{ij}$  равно пяти, а  $G_0 = E_0/2(1 + \mu_1)$ .

На этих же гипотезах и допущениях может быть построена теория расчета элементов и конструкций из клееной древесины, основанная на принципах энергетической континуализации и разработанная в трудах В.В. Болотина и его школы [3]. Она базируется на предложенном Фойгтом обобщении классической теории упругости в перемещениях следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} L_{11}U + L_{12}v + L_{13}\omega + \lambda^2 (M_{11}U + M_{12}v + M_{13}\omega) &= X = 0; \\ L_{21}U + L_{22}v + L_{23}\omega + \lambda^2 (M_{21}U + M_{22}v + M_{23}\omega) &= Y = 0; \\ L_{31}U + L_{32}v + L_{33}\omega + \lambda^2 (M_{31}U + M_{32}v + M_{33}\omega) &= Z = 0, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $L_{jk}$  и  $M_{jk}$  ( $j = k = 1, 2, 3$ ) – соответственно линейные операторы 2-го и 4-го порядка;

$U, v, \omega$  – компоненты перемещений;

$\lambda$  – формально вводимый параметр длины

$$\lambda \approx h \sqrt{\psi(1-\psi)} \cdot \sqrt{E' / E''};$$

$\psi$  – коэффициент «армирования» (относительное объемное содержание древесины),  $\psi \approx 1$ ;

$E'$  – продольный модуль упругости древесины;

$E''$  – модуль упругости клеевого композита;

$h$  – толщина клеевого шва, мм;

$X, Y, Z$  – энергетически «размазанные» компоненты объемных сил.

Например, при толщине слоев древесины 20 мм и клея 0,1 мм  $\psi = 0,995$ .

Тогда  $\lambda = 0,01 \sqrt{0,995(1-0,995)} \cdot \sqrt{10000 / 2500} = 0,01 \cdot 0,07 \cdot 2 \approx 0,0014$  см.

Запишем систему уравнений (4) в более общем виде:

$$Lu + \lambda^2 Mu + X = 0, \quad (5)$$

где  $L$  и  $M$  – соответственно линейные операторы 2-го и 4-го порядка;

$u(x, y, z)$  – векторное поле перемещений;

$\lambda$  – малый параметр, имеющий размерность длины;

$X(x, y, z)$  – векторное поле объемных сил.

Поскольку толщина клеевого шва по сравнению с толщиной ламелей пренебрежимо мала, т.е.  $h \rightarrow 0$ , число граничных условий уменьшится, а оставшиеся условия обеспечат существование и единственность решения  $U_0(x, y, z)$  в новой системе уравнений:

$$LU_0 + X = 0. \quad (6)$$

Приведенный математический аппарат в сочетании с пакетной гипотезой может быть использован для решения целого ряда задач, где принцип энергетической континуализации позволяет использовать осредненные параметры материала, а порядок разрешающей системы дифференциальных уравнений не зависит от числа слоев массива клееной древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алфутов, Н.А.* Расчет многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов [Текст] / Н.А. Алфутов, П.А. Зиновьев, Б.Г. Попов. – М.: Машиностроение, 1984. – 263 с.
2. *Ашкенази, Е.К.* Анизотропия конструкционных материалов [Текст]: справ. / Е.К. Ашкенази, Э.В. Ганов. – М.: Машиностроение.– Л., 1980. – 247 с.
3. *Болотин, В.В.* Механика многослойных конструкций [Текст] / В.В. Болотин, Ю.Н. Новичков. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.
4. *Лабудин, Б.В.* Расчет плитно-ребристых конструкций с упруго-податливыми связями [Текст] / Б.В. Лабудин // Лесн. журн. – 1992. – № 1. – С. 67–72. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Лехницкий, С.Г.* Теория упругости анизотропного тела [Текст] / С.Г. Лехницкий. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
6. *Светозарова, Е.И.* Некоторые вопросы совершенствования клееных деревянных конструкций в процессе изготовления [Текст] / Е.И. Светозарова, Е.Н. Серов, Б.В. Лабудин // Лесн. журн. – 1985. – № 2. – С. 65–68. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Справочное руководство по древесине [Текст] / Лаборатория лесных продуктов США: пер. с англ. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 544 с.
8. СНиП II-25–80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования [Текст]. – М.: Стройиздат, 1982. – С. 65.
9. *Ульяшин, А.Н.* Напряженно-деформированное состояние слоистых пластин [Текст] / А.Н. Ульяшин // Изв. АН СССР. МТТ. – 1979. – № 1. – С. 145–154.
10. *Уманский, А.А.* Строительная механика самолета [Текст] / А.А. Уманский. – М.: Оборонгиз, 1961. – 529 с.
11. *Филин, А.П.* Элементы теории оболочек [Текст] / А.П. Филин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1987. – 384 с.

Архангельский государственный  
технический университет

*B. V. Labudin*

#### **To Substantiation of Estimated Model of Laminated Wood as Orthogonal Transversal-isotropic Material**

The estimated mathematical model of laminated wood is substantiated as transversal-isotropic material taking into account classic hypotheses based on packet hypotheses and approved limitations and assumptions for calculation of solid constructions from laminated wood.



## КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

УДК 061.3:630\*81

*Б.Н. Уголев***СЕССИЯ РКСД В ЭЛЕКТРОГОРСКЕ**

С 3 по 5 октября 2006 г. состоялась очередная сессия Регионального координационного совета по современным проблемам лесоведения (РКСД). В отличие от предыдущих лет, когда такие мероприятия проходили на базе вузов и научных центров, и реализуя программу интеграции науки, образования и производства было решено проводить сессию на ПК «Корпорация «Электрогорскмебель».

В рамках сессии прошел семинар на тему «Прикладные проблемы лесоведения», в котором приняли участие представители вузов, академических институтов и инженерно-технические работники предприятия «Электрогорскмебель».

На пленарном заседании с приветственным словом к участникам сессии обратился председатель ПК «Корпорация «Электрогорскмебель» В.Н. Сыроежкин. Он кратко рассказал об истории руководимого им в течение 40 лет предприятия, о новых планах по его реконструкции, уделив особое внимание готовящемуся к запуску в ближайшее время заводу по производству ДСП, где будут использованы новейшие технологии и оборудование. В.Н. Сыроежкин, будучи сам выпускником МЛТИ, сообщил, что на предприятии работает 150 выпускников университета.

Председательствующий заседания предложил почтить память недавно скончавшихся ученых МГУЛ проф. А.А. Пижурин, многократного участника мероприятий РКСД, и проф. Г.С. Шубина, посмертно избранного академиком ИАВС за вклад в развитие теории сушки и тепловой обработки древесины.

В отчетном докладе проф. Б.Н. Уголева были отражены результаты деятельности Совета за прошедший год, а также современные тенденции развития лесоведения. Отмечено, что наблюдается усиление интереса к физике, биомеханике, наноструктуре древесины и к другим актуальным проблемам. Указано, что древесина является природным «интеллектуальным» материалом. Фундаментальные исследования развиваются вследствие двух побудительных причин: внутренней логики развития науки и запросов производства. Подчеркнута важность междисциплинарного подхода к исследованию древесины, роль лесоведения в системе подготовки специалистов высокой квалификации. Было сообщено об участии членов Координационного совета в ряде международных форумов. Так, например, в работе V Международного симпозиума ИЮФРО «Строение и свойства древесины – 06» в городе Сляч-Селница (Словакия) приняли участие или представили доклады члены Совета: Г.Ф. Антонова, Л.Л. Новицкая, Н.Т. Коновалов, В.А. Козлов, М.В. Кистерная и Б.Н. Уголев. Труды этого симпозиума будут опубликованы в ближайшее время.

Успешно функционировал Реестр экспертов высшей квалификации по лесоведению и прикладным дисциплинам, который в 2006 г. включал более 120 членов. Были получены сообщения от членов Реестра экспертов из центральных регионов РФ, Северо-Запада, Урала, Сибири, Дальнего Востока и др., а также от зарубежных экспертов о их деятельности в области строения и свойств древесины, технологии и оборудования для производства круглых лесоматериалов и пилопродукции, деревянных изделий, фанеры, плит, сушки и защиты древесины, реставрации памятников архитектуры, модификации и химической переработки древесины, стандартизации, сертификации, определения качества лесоматериалов, видов биоразрушителей древесины и др.

На сессии и семинаре был заслушан ряд докладов и сообщений. Зав. лабораторией ИФТТ РАН (г. Черноголовка) Н.В. Классен рассказал об исследовании биоморфных наноструктур, в том числе на древесных матрицах; проф. В.Е. Цветков (МГУЛ) – об исследованиях механизма прочности древесно-полимерных композиций и создании плитных материалов с пониженной токсичностью; проф. Е.Н. Покровская (МГСУ) – о свойствах древесины дуба после длительной (300-летней) эксплуатации; Н.Н. Коновалова (ИФТТ, РАН) – об изменении кристалличности целлюлозы и надмолекулярной структуры лигнина после ультразвуковой обработки.

Н.А. Успенская (ЦНИИСК им. Кучеренко) доложила о работах, проводимых под руководством проф. Л.М. Ковальчука, по оценке состояния деревянных конструкций Большого театра в Москве. Проф. С.Н. Рыкунин (МГУЛ) посвятил свое сообщение культуре и перспективам использования древесины. Доц. В.П. Галкин (МГУЛ) доложил об особенностях использования СВЧ для нагрева древесины и плитных материалов с целью ускорения технологических процессов. Проф. В.В. Коровин (МГУЛ) поделился своими взглядами на возможности направленного изменения форм ствола и свойств древесины растущего дерева. При этом было подчеркнуто природное совершенство древесины, обеспечивающее нормальный рост и развитие древесного растения.

К.т.н. А.Е. Анохин (ОАО МЭЗ ДСПиД) доложил о способах интенсификации пресования ДСП. Рекомендации по режиму пресования ДСП вызвали множество вопросов и активно обсуждались работниками ПК «Корпорация «Электрогорскмебель». Доц. Я.Н. Станко рассказала о проводимых на кафедре древесиноведения МГУЛ работах по идентификации пород и исследованию резонансных свойств древесины, использованной в конструкциях Большого театра в связи с его реконструкцией.

Кроме того, был зачитан ряд письменных сообщений, полученных от членов РКСД. Такие сообщения о древесиноведческой активности за отчетный год поступили из Брянска, Воронежа, Зволена (Словакия), Екатеринбургa, Йошкар-Олы, Костромы, Красноярска, Львова и Харькова (Украина), Москвы, Новосибирска, Петрозаводска, Риги (Латвия), С.-Петербурга, Шопрона (Венгрия) и др. городов.

На заключительном заседании сессии были избраны новые члены РКСД: зав. кафедрой древесиноведения УГЛТУ, доц. к.т.н. Ю.Б. Левинский, к.б.н. Н.Н. Николаева (Институт леса КНЦ РАН).

Сессия РКСД приняла решение об участии в организации Всероссийской конференции «Дендрозкология и лесоведение», а также проведении очередной сессии 2 – 4 октября 2007 г. на базе Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН в Красноярске. Одно из направлений этой конференции посвящено экологическому и биологическому древесиноведению.

Для участников сессии была организована экскурсия на действующее предприятие и строящийся завод по производству ДСП, который будет оснащен новейшим оборудованием.

Участники сессии и семинара поблагодарили руководство ПК «Корпорация «Электрогорскмебель» за оказанный радушный прием, проявленный интерес к деятельности РКСД и готовность к дальнейшему сотрудничеству.

Более подробный отчет о сессии и другие материалы содержатся в Бюллетене РКСД за 2006 г.

Б.Н. Уголев

Московский государственный  
университет леса

*B.N. Ugolev*

**Session of Regional Coordination Council on Modern Problems  
of Wood Science in Electrogorsk.**





ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

**ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ СЕРОВ**

1 февраля 2007 г. исполняется 75 лет со дня рождения доктора технических наук, профессора кафедры конструкций из дерева и пластмасс С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ) Евгения Николаевича Серова.

Евгений Николаевич родился в пос. Красный Бор Тосненского района Ленинградской области. Во время Великой Отечественной войны жил на оккупированной территории, после освобождения участвовал в восстановлении народного хозяйства. В 1949 г. поступил в Ленинградский архитектурный техникум, который успешно окончил в 1957 г. после четырех лет службы на Тихоокеанском флоте.

Свою трудовую деятельность начал техником-архитектором, затем работал инженером в проектно-институте, одновременно совмещая работу с учебной на вечернем отделении Ленинградского инженерно-строительного института (ЛИСИ).

С 1964 г. Е.Н. Серов в ЛИСИ, где прошел путь от ассистента до профессора кафедры конструкций из дерева и пластмасс, возглавлял (1975–1980 гг.) заочный факультет. В этом же году поступил в заочную аспирантуру к проф. Е.И. Светозаровой. В 1971 г. он защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Исследование деформативности и прочности клефанерных рам», посвященную совершенствованию конструктивных решений и методов расчета деревоклееных конструкций.

Наряду с основным курсом «Конструкции из дерева и пластмасс», он читает и специализированные дисциплины, в том числе «Инженерная реставрация архитектурного наследия», проводит практические занятия непосредственно на объектах-памятниках архитектуры с уникальными деревянными конструкциями (дворец Кочубея, Русский музей, академия балета им. Вагановой и др.). Научно-исследовательские работы студентов, которыми руководил Е.Н. Серов, неоднократно награждались дипломами 2- и 3-й степени Минвуза РСФСР, а студенты являлись участниками ВДНХ СССР и соавторами научных статей, изобретений.

Совмещая большую общественную и административную деятельность, Евгений Николаевич продолжал работать по важнейшим народно-хозяйственным темам Госстроя и Госплана, Минвуза РСФСР. Многие темы были выполнены по заданиям и в содружестве с Госагропромом РСФСР и УССР, ЦНИЭПсельстроем, ЦНИМОДом, НПО «Научфанпром», НИПТИМЭСХ, Главзапстроем, а также с заводами и цехами клееных деревянных конструкций (КДК). Итогом этой работы стала успешная защита им в 1988 г. докторской диссертации на тему: «Рациональное использование анизотропии прочности материалов в клееных деревянных конструкциях массового изготовления».

В результате многолетних исследований Е.Н. Серов разработал новые конструктивные формы из КДК, технологии их изготовления, в том числе с безотходным раскроем заготовочных блоков, а также методы расчета, учитывающие высокую степень анизотропии клееной древесины. Им сформулирован основной принцип проектирования КДК – принцип следящей ориентации с согласованием полей действующих напряжений и полей сопротивления анизотропного материала, разработаны и внедрены специальные криволинейные вставки в узлах сопряжения рамных и балочных конструкций, способ усиления приопорных зон КДК с использованием клеенных арматурных стержней, который применен в арках пролетом 63 м (Дворец спорта, г. Архангельск). Он был научным руководителем темы «Сопоставительный анализ научных достижений, отечественных и зарубежных норм проектирования

строительных конструкций» (1992–1998 гг.). Проф. Серов работает над актуальной проблемой сохранения целостности памятников истории, культуры и архитектуры. По результатам НИР и ОКР им опубликовано более 100 научных работ. Он постоянный автор «Лесного журнала».

Результаты НИР и ОКР проф. Е.Н. Серова используются в нормативной литературе Госстроя: «Руководство по проектированию КДК» (1977 г.), «Пособие по проектированию ДК (к СНиП 11-25–80)» (1986 г.) и др., а также при реальном проектировании, в технологических процессах изготовления КДК, в новом строительстве (рамно-шатровое покрытие павильона в санатории «Репино», ребристый купол диаметром 36 м в дер. Гостилицы Ломоносовского района, 156 сельхоззданий на Украине с использованием клефанерных рам). При обследовании дефектных конструкций Е.Н. Серов выступал в качестве эксперта комиссий Госагропрома РСФСР на аварийных объектах в Краснодарском, Красноярском и Ставропольском краях. Им обследованы сотни конструкций в зданиях различного назначения в регионах СНГ. Результаты этих работ использовали и развивали в своих диссертациях докторанты и аспиранты кафедры (Р.Б. Орлович, Б.В. Лабудин, А.В. Хапин, А.Б. Шмидт, С.Ю. Табунов, Л.В. Пантюшина, А.Ю. Гурьев и др.). Их применяют в учебном процессе: на лекциях, при курсовом и дипломном проектировании (с 1974 г. им написано около 10 учебных пособий и монография).

Евгений Николаевич проводил активную общественную работу, являясь зам. председателя секции деревянных конструкций ЛенНТОстройиндустрии, членом президиума местного комитета ЛИСИ, членом оргкомитета ежегодных научно-технических конференций в ЛИСИ – СПбГАСУ, членом диссертационного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций при СПбГАСУ.

В настоящее время под редакцией и в соавторстве им подготовлен к печати большой труд «Проектирование деревянных конструкций» объемом около 35 печатных листов. Е.Н. Серов является Почетным работником высшего профессионального образования РФ, награжден знаком «Отличник соцсоревнования Минстроя СССР», серебряной медалью, Почетным дипломом ВДНХ СССР, дважды премиями Минвуза СССР, трижды знаком «Трудовым успехам слава!». На досуге увлекается флористикой, живописью, пишет стихи.

В год своего 75-летия Евгений Николаевич, имея общий трудовой стаж около 60 лет, выполняет все виды учебной нагрузки и полон творческих планов, интенсивно работает над монографией, занимается наукой и является одним из продолжателей научно-педагогической школы профессоров ЛИСИ–СПбГАСУ – В.Ф. Иванова, Е.Н. Квасникова, Е.И. Светозаровой, руководителем и консультантом кандидатских и докторских диссертаций.

В этот знаменательный день сердечно поздравляем юбиляра и желаем ему крепкого здоровья, долголетия, благополучия, успехов в реализации творческих планов.

Ректорат С.-Петербургского государственного  
архитектурно-строительного университета,  
ученики, коллеги, друзья

*Administration of Saint-Petersburg State University of Architecture and Building,  
followers, colleagues, friends*  
Eugeny N. Serov



2006 год

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Аткина Л.И., Стародубцева Н.И.** Живой напочвенный покров в различных типах земель Джабык-Карагайского бора. №1-14.
- Афонин А.А.** Изменчивость длины пыльцевых зерен аборигенных видов ив Брянского лесного массива. №5-25.
- Борздыко Е.В., Самошкин Е.Н.** О радиоактивном загрязнении брусники обыкновенной в лесах Брянской и Калужской областей. №2-35.
- Газизуллин А.Х.** Региональные особенности почвообразования и почвы лесов центральной части Среднего Поволжья. №5-7.
- Глазун И.Н.** Динамика жизнеспособности пыльцы сосны обыкновенной в зоне отчуждения ЧАЭС. №2-39.
- Дебринюк Ю.М.** Результаты интродукции псевдотсуги Мензиса в лесные насаждения Украинского Расточья. №5-34.
- Егоров М.Н.** Фенотипическая структура естественного древостоя сосны обыкновенной в Центральном Черноземье (Усманский бор). №4-30.
- Жигунов А.В., Шевчук С.В.** Лесные культуры сосны и ели из посадочного материала, выращенного комбинированным методом. №6-13.
- Закамский В.А.** Ультразвуковая диагностика стволов деревьев на наличие гнилей. №6-20.
- Зотеева Е.А., Петров А.П., Капралов А.В.** Лесные сообщества природного парка «Самаровский чугас». №1-45.
- Ивонин В.М., Перфильев О.В., Воскобойникова И.В.** О влиянии плотности почв на эрозию при антропогенной дигрессии горных лесов. №5-14.
- Кавеленова Л.М.** К оценке экологического дискомфорта древесных видов-интродуцентов в городских насаждениях. №3-25.
- Корепанов Д.А.** Продолжительность подтопления почвенных горизонтов в основных типах хвойных насаждений Волжско-Камского междуречья. №3-20.

- Корепанов Д.А.** Лесоводственная эффективность осушения сосновых древостоев в таежной зоне Волжско-Камского междуречья. №4-26.
- Маркина З.Н., Глазун И.Н.** Распределение  $^{137}\text{Cs}$  по профилю почв в лесных экосистемах зоны отчуждения на территории Брянской области. №2-21.
- Нагимов З.Я., Суставова О.В.** Особенности формирования надземной фитомассы деревьев в искусственных сосняках степного Зауралья. №1-9.
- Петрик В.В.** Связь смолопродуктивности сосны обыкновенной с некоторыми морфологическими признаками шишек и семян. №4-20.
- Помогаева В.А.** Интенсификация выращивания сеянцев сосны обыкновенной с помощью нетрадиционных органических удобрений. №2-27.
- Прожерина Н.А., Гвоздухина О.А., Наквасина Е.Н.** Показатели водного обмена ели (*Picea abies* × *P. obovata* Ledeb.) как критерии адаптации в изменяющихся условиях среды. №6-7.
- Родионов А.В.** Оценка эффективности освоения участков лесного фонда. №4-7.
- Скок А.В., Глазун И.Н., Самошкин Е.Н.** Влияние хронического ионизирующего излучения на продолжительность фаз митоза и хромосомные нарушения сосны обыкновенной. №2-30.
- Соколов А.И., Харитонов В.А., Кривенко Т.И.** Новые механизмы для обработки почвы на вырубках в условиях Карелии. №3-7.
- Султанова Р.Р.** Особенности формирования липняков нектарного лесопользования. №1-33.
- Толкач О.В.** Депонирование поллютантов почвами пригородных лесов на Среднем Урале. №1-40.
- Феклистов П.А., Бирюков С.Ю.** Сезонный рост сосны скрученной в северной подзоне тайги. №6-24.
- Харченко Н.Н.** Территориальное распределение и станции обитания норных зверей Среднего Подонья. №5-22.
- Чураков Б.П., Лисов Е.С.** Влияние плотности микориз на самосев дуба черешчатого в дубравах Ульяновской области. №4-14.

**Шавнин С.А., Юсупов И.А., Артемьева Е.П., Голиков Д.Ю.** Влияние повышения температуры среды на формирование наземной растительности вблизи газового факела. №1-21.

**Шебалова Н.М., Залесов С.В.** Микромицеты лесных почв сосновых насаждений, произрастающих в зонах техногенного загрязнения. №1-28.

**Шошин В.И., Смирнова М.Ю., Марченко С.И., Егорушкин В.А.** Лесные культуры Брянского опытного лесничества. №2-14.

**Шутов И.В.** Сила и слабости концепции нового Лесного кодекса. №6-30.

**Юрьева А.Л.** Влияние подготовки почвы и вида посадочного материала на рост и развитие лесных культур сосны. №3-13.

### **ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ**

**Вихарев А.Н., Гагарин П.Н.** Моделирование напряженного состояния грунта вблизи работающего анкера. №4-41.

**Заикин А.Н.** Технологические схемы и оборудование верхних складов на территории лесосек с радиационным загрязнением. №2-43.

**Ермичев В.А., Лобанов В.Н., Кривченкова Г.Н., Артемов А.В.** Прогнозирование осадки и плотности лесной почвы после прохода гусеничных машин. №2-48.

**Иванов Н.А., Мясников Е.А.** Оценка вероятности преодоления вездеходом лесистой местности. №3-36.

**Ивашкин Ю.А.** Совершенствование процессов очистки деталей машин лесного комплекса при выполнении ремонтных работ. №2-52.

**Коршун В.Н.** Основы механики лесной почвы. №4-47.

**Кручинин И.Н.** Математическая модель для расчета параметров ходовой части лесотранспортных машин. №1-52.

**Лобанов В.Н.** Динамика взаимодействия гусеничных лесных машин со слабыми грунтами. №2-55.

**Морозов В.С.** Влияние деревянного настила на несущую способность зимних автомобильных дорог. №6-35.

**Морозов Г.С.** Определение осадок сооружений на основании из мерзлого торфяного грунта. №5-46.

**Нерадовский Д.Л.** Методика экспериментального определения длины заглубленных в грунт свай. №4-55.

**Никитин С.В.** Особенности конструкции опрокидывателя для хранения легковых автомобилей. №3-41.

**Павлов Ф.А., Доронин К.В.** Оптимальная конфигурация транспортной сети лесных дорог с учетом формы выделов. №3-31.

**Платонова Е.В.** Применение методов множественной регрессии для определения средней скорости движения лесовозного транспорта. №5-57.

**Сергеев М.С., Овчинников М.М., Гусейнов Э.М.** Модель столкновения крупногабаритной сплочной единицы с реевым боном. №6-44.

**Стуков В.П.** Комплексное исследование мостов с балками из клееной древесины. №5-40.

**Стуков В.П.** Анализ состояния мостов с балками из клееной древесины. №6-52.

**Шергов П.Д.** Использование валочно-пакетирующих машин на лесозаготовках. №5-52.

**Шиловский В.Н., Кутырев Е.В.** К вопросу о разработке системы эксплуатации лесозаготовительных машин. №6-57.

**Ширнин А.Ю.** Исследования процесса подъема переднего конца пачки хлыстов при лебедочной трелевке. №4-37.

## **МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ**

**Алексеев А.Е., Волков В.М., Петухов С.В.** Исследование привода механизма перемещения узла резания однопильного торцовочного станка. №5-90.

**Алексеев Ю.С.** Сушка древесины в камерах парового типа. № 6-88.

**Алексеева Л.В., Чернега Р.Г.** Определение размеров накопителей сортиментов. №5-87.

**Атрощенко Л.С.** Экспресс-сушка пиломатериалов. №3-65.

**Бедердинова О.И., Коряковская Н.В.** Характеристики времени обслуживания потока необрезных пиломатериалов. №3-59.

- Варфоломеев Ю.А., Баданина Л.А.** Определение влагопроницаемости древесины по результатам производственных испытаний. №3-51.
- Варфоломеев Ю.А., Лукичев А.В.** Экспериментальные исследования прочности деревянных клееных балок с различным расположением слоев. №5-80.
- Вилейшикова Н.В., Снопков В.Б., Белясова Н.А.** Сравнительная оценка защитных средств от повреждений древесины грибами. №6-79.
- Гамрекели М.Н.** Скорость движения капель жидкости и время их пребывания в газодисперсной круглой струе. №5-72.
- Иванов Д.В.** Пакетоспособность партии пиломатериалов. №5-66.
- Ивановский В.П.** Напряженное состояние дереворежущего диска. №6-65.
- Кадималиев Д.А., Ревин В.В., Атыкян Н.А., Шутова В.В.** Экологические характеристики прессованных материалов из отходов растительного сырья, обработанных грибом *P. tigrinus*. №4-83.
- Коняшкин В.И.** Напряженное состояние режущего инструмента. №2-74.
- Малыгин В.И., Смаглов А.Е.** Оценка точности вычислений в задачах теплофизики при проектировании дереворежущего инструмента. №4-72.
- Мельников Е.С., Смирнов А.А.** Влияние комплексного ухода на качество древесины высокопродуктивных ельников. №4-89.
- Памфилов Е.А., Шевелева Е.В., Муратов Д.И.** Создание новых композиционных древесно-металлических материалов. №2-60.
- Памфилов Е.А., Пыриков П.Г.** Применение управляемых магнитных полей в функциональных узлах деревообрабатывающего оборудования. №2-84.
- Пашков В.К., Щепочкин С.В.** К оценке тепловых потоков и средних температур зуба круглой пилы. №1-58.
- Решин А.П.** К проблеме многоцелевой защиты древесины. №2-80.
- Савенко В.Г., Савенко А.В., Петрухин Ю.П.** Система автоматизированного управления процессом сушки древесины. №2-70.

- Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г.** Математическая модель процесса конвективной сушки пиломатериалов в разряженной среде. №4-64.
- Сильман Г.И., Дмитриева Н.В., Грядунов С.С.** Свойства литых твердых сплавов и их применение в деревообработке. №2-66.
- Суровцева Л.С.** Совершенствование операций приемки и учета древесины на лесопильных предприятиях. №6-83.
- Торопов А.С., Шарапов Е.С.** Исследование плотности древесины березы, пораженной сердцевинной гнилью. №6-72.
- Уласовец В.Г.** Предельный охват поставом сегментов и боковых брусьев. №1-62.
- Уласовец В.Г.** Раскрой боковых брусьев на обрезные пиломатериалы. №1-66.
- Черных А.Г., Ильюшенко Л.В.** Получение радиальных черновых заготовок. №3-46.
- Чубинский А.Н., Щербаков В.М.** Обоснование конструкции и технологии изготовления трудногорючих столярных плит. №5-61.
- Шамаев В.А., Скориданов Р.В., Постников В.В.** Получение модифицированной древесины с высокими прочностными свойствами. №4-78.

### **ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**

- Агеев М.А., Медяник Н.Л., Агеев А.Я.** Влияние химикатов на эффективность флотационного облагораживания макулатуры. №1-83.
- Айзенштадт А.М., Богданов М.В., Боголицын К.Г., Абросимова А.А.** К вопросу об эффективном потенциале родственных лигнину фенолов. №3-91.
- Беушева О.С., Мусько Н.П., Чемерис М.М.** Математическая модель процесса взрывного автогидролиза древесины лиственницы. №5-113.
- Вураско А.В., Романова Ю.В.** Свойства целлюлозных волокон при совместной варке хвойных и лиственных пород. №1-70.
- Вураско А.В., Романова Ю.В.** Исследование эффективности действия антрахинона при натронной варке смешанных пород древесины. №1-78.

- Вураско А.В., Агеев А.Я.** Реологические свойства дисперсной системы щелок–ПАВ–антрахинон. №5-100.
- Вураско А.В., Глазырин В.В., Романова Ю.В.** Антрахинон – вчера, сегодня, завтра. №6-109.
- Гермер Э.И.** Изучение суперактивного катализа кислородно-щелочной делигнификации древесины комплексами металлов переменной валентности с использованием в качестве модели 1,10-фенантролината меди (II). 1. Подход к изучению проблемы. Эффективность действия 1,10-фенантролината меди (II). №3-70.
- Гермер Э.И.** Изучение суперактивного катализа кислородно-щелочной делигнификации древесины комплексами металлов переменной валентности с использованием в качестве модели 1,10-фенантролината меди (II). 2. Основные факторы, характеризующие комплексное соединение и его способность быть катализатором редокс-процессов. №3-82.
- Гермер Э.И.** Изучение суперактивного катализа кислородно-щелочной делигнификации древесины комплексами металлов переменной валентности с использованием в качестве модели 1,10-фенантролината меди (II). 3. Пути реализации катализа и его механизм. №4-100.
- Гермер Э.И.** Изучение суперактивного катализа кислородно-щелочной делигнификации древесины комплексами металлов переменной валентности с использованием в качестве модели 1,10-фенантролината меди (II). 4. Кислородно-щелочная варка с низкими значениями параметров как путь практической реализации суперактивного катализа. №6-94.
- Карманов А.П., Матвеев Д.В., Кочева Л.С.** Исследование лигнина клеточных оболочек на различных стадиях делигнификации древесины с применением методов синергетики и нелинейной динамики. №4-112.
- Киселев И.Я.** Исследование качественного состава пигментов осенней окраски листьев некоторых видов древесных растений. №5-106.
- Коновалов А.Б.** Математическая модель процесса прессования бумажного полотна в прессах бумагоделательных машин. №6-102.
- Куцубина Н.В., Удинцева С.Н.** Математическое моделирование процессов намотки рулонов бумаги на продольно-резательных станках. №1-89.

- Меркелов В.М., Макеев Е.А.** Снижение токсичности карбамидоформальдегидных клеев. №2-91.
- Севастьянова Ю.В., Миловидова Л.А., Комарова Г.В., Королева Т.А.** Влияние условий сульфатной варки на содержание остаточного лигнина и групп гексенуроновой кислоты в лиственной целлюлозе. №3-103.
- Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Шистеров С.А.** Обессмоливание березовой бисульфитной целлюлозы на стадиях варки и отбелики. №3-98.
- Харитonenko В.Т.** Совершенствование подготовки ремонтно-механических предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. №5-96.

## **ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

- Берестов В.Л., Лиманский А.В.** Состояние лесного фонда и лесопользования в Брянской области. №2-97.
- Булдаков С.И., Ежова М.Г.** Оценка экономического ущерба окружающей природной среде в зоне автозаправочных станций. №1-100.
- Вертман А.А., Провоторов Ю.И., Мелехов В.И., Аренс В.Ж.** К выбору стратегии освоения отдаленных регионов России. №3-108.
- Зубко А.А.** Экономическая организация ведения лесного хозяйства в городских лесах. №5-117.
- Кируца Г.А.** Краткосрочное кредитование предприятий лесопромышленного комплекса. №4-125.
- Климов А.Ю.** Экономическая оценка эффективности процессов добровольной лесной сертификации (на примере предприятий Архангельской области). №6-120.
- Магасумова А.Г., Ежова М.Г.** Экономическое обоснование различных способов рубок обновления. №1-95.
- Некрасов М.Д.** Об экономической оценке лесных ресурсов. №5-123.
- Потапович О.В.** Формирование отчетности лесхозов в современных условиях. №1-104.
- Романов Е.С., Лаврова И.В.** Структуризация понятия доступности лесных ресурсов. №3-120.



**Соколов К.Б., Минаев А.Н., Овчинников М.М., Пятякин В.И., Олофинский В.Б., Гусейнов Э.М.** Водный транспорт леса как экономическая и экологическая составляющие развития лесопромышленного комплекса России. №6-114.

## **КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Воронов М.П., Часовских В.П.** Создание информационных систем управления лесопромышленным предприятием. №1-112.

**Воронов М.П., Часовских В.П.** Моделирование и мониторинг производственно-сбытовых программ. №1-119.

**Евельсон Л.И.** Проектирование узлов трения на основе интегрированных экспертных систем. №2-102.

**Малыгин В.И., Кремлева Л.В., Шестаков К.Л.** Проектные решения в технологии деревообработки. №3-126.

**Поляков В.В.** Оптимизация управления целлюлозно-бумажным производством. №3-134.

## **МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ**

**Волокитина А.В., Софронов М.А., Софронова Т.М.** Обучающая программа для прогноза поведения низовых лесных пожаров. №5-130.

## **КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

**Алешин И.В., Глазун И.Н., Самошкин Е.Н.** Жизнеспособность и аномалии развития пыльцы ели европейской в зоне отчуждения ЧАЭС. №2-110.

**Борздыко Е.В., Самошкин Е.Н.** Влияние хронического ионизирующего излучения на цитогенетические показатели брусники обыкновенной. №2-107.

**Вдовин А.Ю., Рублева С.С.** О динамическом алгоритме нахождения производной функции. №1-128.

- Владими́рова Т.М., Соколов О.М., Третьяков С.И.** Моделирование процесса ректификации и парциальной конденсации при разделении таллового масла. №3-151.
- Гамрекели М.Н.** Предельные значения производительности установок распылительной сушки. №1-138.
- Гермер Э.И.** Вода и энергия как экологические характеристики производственных процессов, требующие нормирования. №5-136.
- Глазун И.Н., Скок А.В., Самошкин Е.Н.** Влияние хронического ионизирующего излучения Чернобыльской АЭС на посевные качества семян сосны обыкновенной. №2-113.
- Думанский С.И.** Виброизоляция лесопильных рам с помощью пластинчатых амортизаторов. №4-131.
- Костюченко Д.А.** Клональное микроразмножение растений (на примере многолистного люпина). №2-105.
- Лабудин Б.В., Матвеев Р.П., Санжаровский Р.С.** Устойчивость сжато-изогнутых стержней, усиленных титановыми элементами. №3-145.
- Лабудин Б.В., Матвеев Р.П., Санжаровский Р.С.** Критерии устойчивости сжато-изогнутых стержней, усиленных титановыми элементами. №5-140.
- Лабудин Б.В.** К обоснованию расчетной модели клееной древесины как ортогонального трансверсально-изотропного материала. №6-136.
- Лисиенко В.Г., Кириллова Т.С., Богословский Д.Н.** Оценка энергоемкости основных производств целлюлозно-бумажной промышленности. №1-132.
- Любов В.К.** Совершенствование энергохозяйств предприятий лесопромышленного комплекса. №4-135.
- Найчук А.Я.** О несущей способности узлов деревянных клееных трехшарнирных арок. №3-141.
- Соколова Г.В.** Влияние лесных пожаров на погоду. №6-128.
- Хамитов Р.С.** Стимуляция грунтовой всхожести семян кедра сибирского препаратом «Гумат+7». №6-127.

**Шепель Г.А., Надеин В.Ф., Кабеева Н.С.** Термостабилизация теплоносителя на входе в калорифер лесосушильных установок. №6-132.

## **ИСТОРИЯ НАУКИ**

**Бабич Н.А., Евдокимов И.В.** К 240-летию основания Вольного экономического общества. №1-120.

**Залесов С.В.** Факиль Валиуллович Аглиуллин (к 70-летию с дня рождения). №1-145.

**Рыбалкин А.И.** Лесные музеи и выставки в России во второй половине XIX – начале XX вв. №2-124.

**Санев В.И.** К 100-летию со дня рождения А.Э. Грубе. №2-130.

**Цветков В.Ф., Барзут В.М., Наквасина Е.Н.** Памяти Питирима Николаевича Львова. №2-133.

**Чернов Н.Н., Кузнецов А.Ф., Малеев К.И.** Юбилейные торжества. №1-146.

**Шошин В.И., Решетников А.П.** К 100-летию Брянского опытного лесничества. №2-116.

## **КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ**

**Уголев Б.Н.** Сессия РКСД в Электрогорске. №6-140.

## **КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ**

**Доев С.К.** Новое учебное пособие. №2-136.

**Петрик В.В., Барабин А.И., Тутыгин Г.С.** Новое издание учебника «Лесные культуры». №2-135.

**Чернов Н.Н.** Альтернативное учебное пособие. №2-139.

## **ЮБИЛЕИ**

**Московский государственный университет леса, Московское общество испытателей природы, редколлегия и редакция «Лесного журнала», Архангельский государственный**

**технический университет, Вологодская государственная  
молочнохозяйственная академия. Юбилей ученого. №2-143.**

**Ректорат АГТУ, редколлегия и редакция «Лесного журнала».  
Валерий Иванович Комаров (к 60-летию со дня рождения). №4-143.**

**Ректорат Брянской инженерно-технологической академии,  
Агентство лесного хозяйства Брянской области, Западное  
лесоустроительное предприятие. Поздравляем юбиляра. №2-141.**

**Ректорат С.-Петербургского государственного архитектурно-  
строительного университета, ученики, коллеги, друзья. Евгений  
Николаевич Серов. №6-142.**

**Романов Е.М., Павлов А.И., Кирсанов А.Д., Войтко П.Ф. Юрий  
Александрович Ширнин. №4-144.**

**Старжинский В.Н., Глухих В.В., Залесов С.В., Азаренок В.А.,  
Игнатьев В.А., Лебедев А.Д., Серов Ю.А. Николай Алексеевич  
Луганский. №1-148.**

**Миркин В.И., Кишенков Ф.В. Брянской высшей школе лесоводов  
– 75 лет. №2-7.**

**Ректорат Архангельского государственного технического  
университета, редколлегия и редакция «Лесного журнала».  
Юбилей Олега Михайловича Соколова. №1-7.**