

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

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

1

2001

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – акад. **О.М. Соколов**
Заместители главного редактора:
акад. **Е.С. Романов**, чл.-кор. **С.И. Морозов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

Ответственный секретарь **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» № 1

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

Сдан в набор 08.01.2001. Подписан в печать 26.02.2001.
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,6. Усл. кр.-отт. 13,6.
Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, тел.: (818-2) 44 13 37,
факс: (818-2) 44 11 46, e-mail: public@agtu.ru [http:// www.agtu.ru](http://www.agtu.ru)

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>В.А. Усольцев, А.В. Усольцев.</i> Регрессионная модель предельных показателей фитомассы сосновых древостоев	7
<i>П.М. Мазуркин, Н.В. Русинова.</i> Изменение площади места произрастания лидирующего дерева	14
<i>А.Н. Белов.</i> Распределение плотности оседания пестицидов по вертикали кронового пространства в березовых древостоях	20
<i>Л.С. Пиеничникова.</i> Рост сосны в экспериментальных посадках разной густоты	25
<i>Г.Б. Осадчий.</i> Установка для локализации и тушения пожара	32
<i>А.П. Рябокони.</i> Исследование качества древостоев	36

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>В.И. Кучерявый, В.Д. Чарков, С.Н. Мильков.</i> Вероятностный расчет нагрузочных режимов работы сучкорезных машин	46
<i>В.П. Стуков.</i> Дороги и мосты Архангельской области: их настоящее и будущее	51
<i>Д.Г. Шимкович.</i> О соотношениях для оценки силовых и конструктивных параметров грузоподъемных манипуляторов на начальных стадиях проектирования	55
<i>Г.С. Морозов.</i> Определение расчетных значений модулей деформации для оснований временных сооружений из мерзлого торфяного грунта	62

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин.</i> Устойчивость пилы ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими	67
<i>В.В. Сергеевичев.</i> Анализ напряженного состояния фанерных труб	74
<i>А.Е. Алексеев, О.И. Бедердинова.</i> Характеристика входного потока пиломатериалов	82
<i>Ю.Г. Павлов.</i> Фигурный лазерный раскрой материалов деревообработки	88
<i>Б.Д. Руденко, М.Д. Андреев, А.В. Давыдик.</i> Динамика сушки пиломатериалов в камерах Hildebrand	95

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>С.П. Санников, А.И. Бабин, С.С. Шашева, Д.П. Шахматов.</i> Установка для исследования реологических характеристик волокнистых суспензий	100
<i>А.М. Айзенштадт, К.Г. Боголицын, М.В. Богданов, О.В. Самылова.</i> Кинетическая характеристика процесса окисления ванилинового спирта в кислых средах	104
<i>Ю.Г. Хабаров, Л.В. Герасимова.</i> Модификация лигнинов путем окислительно-радикального сочетания. 4. Окислительное радикальное сочетание фенольных соединений в условиях одноэлектронного окисления	109
<i>О.Ю. Бауэр, М.А. Агеев, С.П. Санников, А.Я. Агеев.</i> Исследование коллоидно-химических свойств парафиновой дисперсии	114

<i>В.В. Заляжных, Д.Г. Чухчин. Поглощение лигносульфоновых кислот при обработке сульфитных щелоков анионитом АН-31</i>	120
<i>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</i>	
<i>Н.И. Кожухов, Е.В. Сазанова. Вопросы ресурсосбережения и использование кусковых отходов в лесопилении</i>	125
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</i>	
<i>Л.А. Баданина, Е.Ю. Варфоломеева. Математическое моделирование биопоражения антисептированных древесных образцов при лабораторных испытаниях</i>	131
<i>КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ</i>	
<i>Б.Н. Уголев. III Международный симпозиум и сессия Координационного совета по древесиноведению</i>	136
<i>КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ</i>	
<i>Е.С. Романов. Книга лесоведа глазами экономиста</i>	138
<i>ЮБИЛЕИ</i>	
<i>Выпускники АЛТИ–АГТУ, коллеги, единомышленники, друзья. Олег Михайлович Соколов</i>	140
<i>А.Н. Обливин, Ю.П. Семенов. Профессору Г.С. Шубину – 75 лет</i>	142
<i>Ректорат Архангельского государственного технического университета, факультет природных ресурсов, кафедра промышленного транспорта. Поздравляем с юбилеем !</i>	144

CONTENTS

FORESTRY

<i>V.A. Usoltsev, A.V.Usoltsev.</i> Regression Model of Limiting Phytomass Indices of Pine Stands.....	7
<i>P.M. Mazurkin, N.V. Rusinova.</i> Changing of the Growing Area of the Leading Tree.....	14
<i>A.N. Belov.</i> Density Distribution of Pesticide Sedimentation along the Vertical Birch Stands Crowns.....	20
<i>L.S. Pshenichnikova.</i> Pine Growth in the Experimental Planting of Different Density.....	25
<i>G.B. Osadchy.</i> Device for Fire Isolation and Extinction.....	32
<i>A.P. Ryabokon.</i> Investigating the Stands Quality.....	36

WOODEXPLOITATION

<i>V.I. Kucheryavy, V. D. Charkov, S. N. Milkov.</i> Probabilistic Calculation of Load Running Modes of Delimiters.....	46
<i>V.P. Stukov.</i> Roads and Bridges of the Arkhangelsk Region: their Past and Future.....	51
<i>D.G. Shimkovich.</i> On Ratios for Evaluating Power and Design Factors of Lifting Manipulators at the Initial Stages of Designing.....	55
<i>G.S. Morozov.</i> Determining the Calculated Values of the Deformation Modules for Temporary Structures Basement made of Frozen Peat Ground.....	62

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>G.F. Prokofjev, I. I. Ivankin.</i> Stability of the Saw of Band Sawing Machine with Curvilinear Aerostatic Guides.....	67
<i>V.V. Sergeevichev.</i> Analysis of Veneer Pipe Tension.....	74
<i>A.E. Alekseev, O.I. Bederdinova.</i> Description of Sawed Wood Input Stream.....	82
<i>Yu.G. Pavlov.</i> Shaped Laser Sawing of Wood-working Materials.....	88
<i>B.D. Rudenko, M.D. Andreev, A.V. Davydik.</i> Dynamics of Sawed Timber Drying in the Drying Chambers Hildebrand.....	95

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>S.P. Sannikov, A. I. Babin, S. S. Shasheva, D. P. Shakhmartov.</i> Device for Investigating Rheological Characteristics of Fiber Suspensions.....	100
<i>A.M. Aizenshtadt, K. G. Bogolitsyn, M. V. Bogdanov, O. V. Samylova.</i> Kinetic Characteristic of the Oxidation Process of Vanillic Alcohol in Acid Media.....	104
<i>Yu.G. Khabarov, L.V. Gerasimova.</i> Lignin Modification through Oxidative Radical Combination. 4. Oxidative Radical Combination of Phenol Compounds in the Conditions of One-electron Oxidation.....	109
<i>O.Yu. Bauer, M.A. Ageev, S.P. Sannikov, A.Ya. Ageev.</i> Investigation of Colloid-and-chemical Properties of Paraffin Dispersion.....	114
<i>V.V. Zalyazhnykh, D. G. Chukhchin.</i> Absorption of Lignosulfonic Acids when Treating the Sulfite Liquor with Anionite AN-31.....	120

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- N.I. Kozhukhov, E.V. Sazanova.* Questions of Resource Saving and Utilization of Lump Residues in Wood Sawing..... 125

SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE

- L.A. Badanina, E. Yu. Varfolomeeva.* Mathematical Simulation of the Biological Infestation of Preserved Wooden Samples in Laboratory Tests..... 131

SCIENTIFIC AND LEARNED CONFERENCES

- B.N. Ugolev.* III International Symposium and Session of Coordinating Council on Wood Science. 136

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

- E.S. Romanov.* The Forester Book – How the Economist Sees it..... 138

JUBILEES

- Graduates of AFEI–ASTU, colleagues, adherents, friends.* Oleg M. Sokolov..... 140
- A.N. Oblivin, Yu.P. Semenov.* Professor G.S.Shubin is 75 years old..... 142
- Administration of the Arkhangelsk State Technical University, Faculty of Natural Resources, Department of Industrial Transport.* Congratulations on Jubilee! 144
-

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*52:630*174.754

В.А. Усольцев, А.В. Усольцев

Усольцев Владимир Андреевич родился в 1940 г., окончил в 1963 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства Уральской государственной лесотехнической академии, заведующий лабораторией биологической продуктивности лесов Института леса УрО РАН. Имеет более 160 печатных работ по проблемам оценки биологической продуктивности и структуры фитомассы лесов.



Усольцев Александр Владимирович родился в 1968 г., окончил в 1993 г. Уральскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры лесоводства УГЛТА. Имеет 10 печатных работ в области оценки фитомассы лесов.



РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИТОМАССЫ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

По данным фитомассы древостоев 100 пробных площадей, заложенных в сосняках Урала и Казахстана, рассчитана рекурсивная система многофакторных регрессионных уравнений. Полученная модель описывает устойчиво-предельную густотную траекторию надземной фитомассы (стволы, ветви, хвоя) сосняков региона, выше которой древостой как лесной биоценоз существовать уже не может.

чистые одновозрастные сосняки, южная подзона тайги, надземная фитомасса, возраст, число стволов, диаметр, высота, логарифмический полином.

На каждом этапе онтоценогенеза древостоя имеется определенный биологический предел густоты, выше которого древостой как лесной биоценоз существовать уже не может [5]. Устойчиво-предельные показатели фитомассы листвы связаны с уровнем ФАР, водным балансом, температурой и влажностью воздуха и почвы, степенью континентальности климата, [12–15] и, следовательно, имеют региональные особенности. В пределах же региона эти показатели определяются морфоструктурой древостоя и могут быть описаны совокупностью массоопределяющих таксационных показате-

лей. В наших работах [7, 8] было показано, что возрастная и ценотическая динамика надземной фитомассы древостоев трех лесообразующих пород может быть адекватно описана четырехфакторными регрессионными моделями, включающими в качестве регрессоров возраст древостоя, класс бонитета, средний диаметр и число деревьев на 1 га. При этом показатели массы листвы образуют линии оптимальной и предельной густот, в то время как показатели массы стволов в статике с увеличением густоты монотонно возрастают. В то же время известно, что в данном возрасте масса стволов с увеличением густоты нарастает лишь до определенного предела, а затем снижается [1, 6]. Чтобы разрешить это противоречие, было предложено включать в регрессионную модель фактор начальной густоты [8], однако практически это трудно реализуемо. Позднее противоречие было разрешено заменой в регрессионных уравнениях класса бонитета средней высотой древостоя, и в итоге на примере березняков были получены линии максимальной фитомассы листвы, скелета кроны и стволов [10].

В настоящей работе предпринята попытка вывести аналитическим путем линии предельных показателей надземной фитомассы чистых одно-возрастных сосняков Урало-Казахстанского региона. Экспериментальный материал получен: в естественных сосняках Зауральской холмисто-предгорной провинции в пределах южной подзоны тайги [2] (Свердловская область, Учебно-опытный лесхоз УГЛТА, 43 пробные площади), в естественных сосняках Казахского мелкосопочника (Кокчетавская область, Бармашинский опытный лесхоз КазНИИЛХа, 7 пробных площадей) и в естественных сосняках и культурах островных боров Тургайского прогиба, представляющего область относительного погружения между Уралом и Казахским мелкосопочником (Кустанайская область, Семиозерный, Басаманский и Аракарагайский лесхозы, 50 пробных площадей). Всего заложено 100 пробных площадей в древостоях 9–115-летнего возраста в диапазоне типов леса от влажных до сухих, на которых по ступеням толщины взято около 900 модельных деревьев. Методика получения и характеристика экспериментальных данных фитомассы изложена ранее [7, 9].

Регрессионная модель предельных (максимальных) показателей фитомассы строится в виде цепочки рекурсивных уравнений [11]. На первом этапе рассчитаны траектории изменения максимальных (для каждой возрастной и густотной группы) значений диаметра D_{\max} и высоты H_{\max} среднего дерева древостоя.

Получены зависимости

$$\ln D_{\max} = -8,4294 + 5,3591 \ln A - 0,6174 \ln^2 A + 1,4414 \ln N - 0,1366 \ln^2 N - 0,3926 \ln A \ln N; \quad (1)$$

$$R^2 = 0,966; \text{ стандартная ошибка уравнения } SE = 0,099;$$

$$\ln H_{\max} = -5,6927 + 3,2125 \ln A - 0,3422 \ln^2 A + 1,0860 \ln N - 0,0873 \ln^2 N - 0,2255 \ln A \ln N + 0,3998 \ln D; \quad (2)$$

$$R^2 = 0,963; \text{ } SE = 0,101,$$

где A – возраст древостоя, лет;

N – число стволов на 1 га, тыс. экз.;

D – диаметр ствола среднего дерева древостоя, см;

D_{\max} , H_{\max} – соответственно максимальные значения диаметра, см, и высоты, м, среднего дерева.

Все константы уравнений здесь и далее значимы на уровне t_{05} и выше. Положение траекторий предельных (максимальных) значений D_{\max} и H_{\max} относительно всех экспериментальных данных показано на рис. 1.

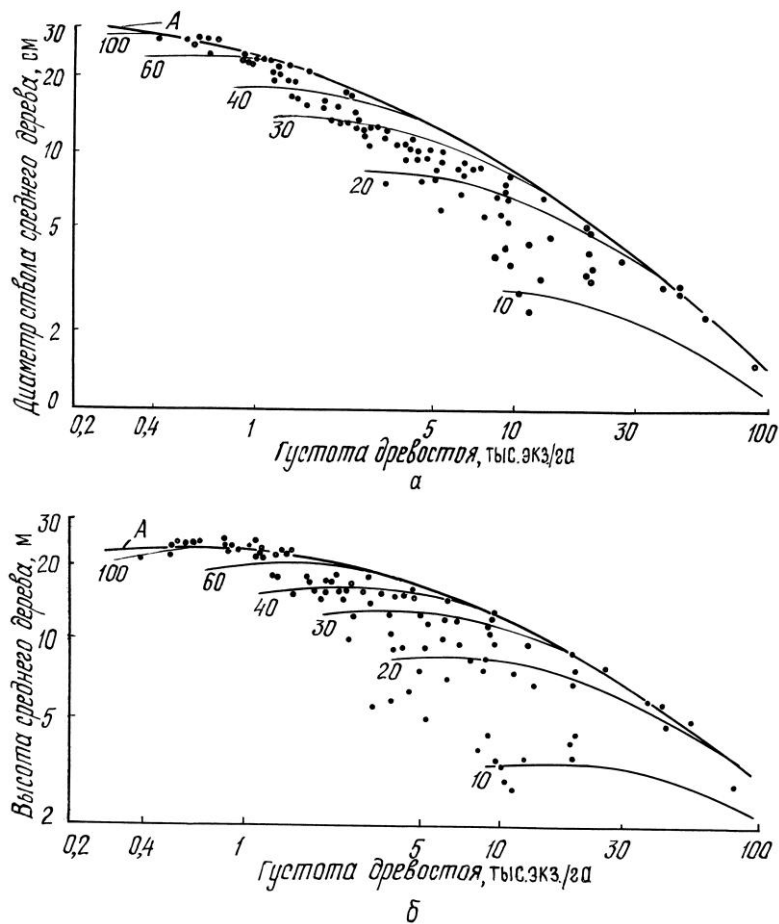
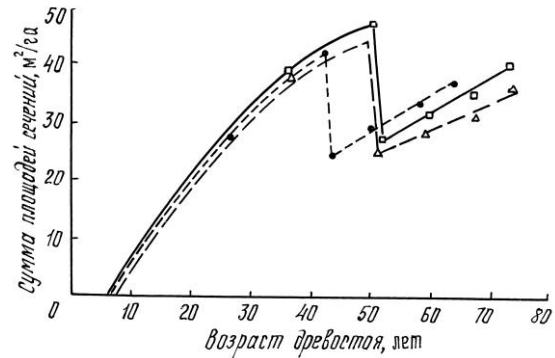


Рис. 1. Положение кривых зависимостей максимальных диаметра (а) и высоты (б) среднего дерева сосняков в возрастах 10, 20, 30, 40, 60 и 100 лет (показаны цифрами), полученных табулированием уравнений (1) и (2) по задаваемым значениям возраста и густоты древостоев, относительно поля распределения всех экспериментальных значений средних диаметров и высот древостоев;
А – линия самоизреживания

Рис. 2. Изменение с возрастом суммы площадей сечений древостоев по данным периодических перечетов на трех постоянных пробных площадях, заложенных в культурах сосны на обыкновенных и солонцеватых черноземах Подгородной лесной дачи Омской области [4]



Однако некоторые экспериментальные точки выходят за линию самоизреживания. Формально это можно объяснить спецификой метода наименьших квадратов, лежащего в основе расчета регрессий, но это можно рассматривать и как свидетельство наличия не линии, а полосы самоизреживания, в которой древостои из-за чрезмерного перегущения не могут находиться в устойчивом состоянии. Срабатывает спровоцированный любым внешним воздействием (засуха, обильный снегопад и т. д.) механизм саморегуляции, в результате чего резко сокращается густота древостоя, и наши «выскакивающие» точки в следующий момент времени смещаются влево, за линию самоизреживания. Подтверждением изложенных соображений служит рис. 2, где изображена возрастная динамика площади сечений древостоя, полученная по данным периодических перечетов на постоянных пробных площадях [4].

На втором этапе на основе содержательного анализа массива экспериментальных данных (100 наблюдений) подобрана структура четырехфакторных регрессионных моделей

$$\begin{aligned} \ln Y = & a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A + a_3 \ln^3 A + a_4 \ln N + a_5 \ln^2 N + a_6 \ln D + a_7 H + \\ & + a_8 \ln H + a_9 \ln^2 A \ln N + a_{10} \ln A \ln N + a_{11} H \ln^2 A + a_{12} H \ln A + \\ & + a_{13} H \ln D + a_{14} \ln A \ln D + a_{15} \ln A \ln H + a_{16} \ln M \ln D, \end{aligned} \quad (3)$$

где Y – запас древостоя M , $\text{м}^3/\text{га}$, или переводной коэффициент P_i/M , $\text{т}/\text{м}^3$, представляющий отношение массы i -й фракции (ствол, скелет кроны, хвоя) в абс. сухом состоянии, $\text{т}/\text{га}$, к запасу стволовой древесины.

Характеристика уравнений (3) и значения их констант приведены в табл. 1.

Табулированием цепочки рекурсивных уравнений в последовательности (1) – (3) получены семейства густотных кривых запасов стволовой древесины и фитомассы сосняков по классам возраста. Правые ветви кривых образуют огибающие (линии самоизреживания), положение которых относительно экспериментальных данных запаса и фитомассы показано

Таблица 1

Показатели	Значения показателей			
	для запаса стволовой древесины, м ³ /га	для переводных коэффициентов P_i/M надземной фитомассы, т/м ³		
		стволов	скелета кроны	хвои
a_0	-11,2506	-1,4247	-0,8097	-0,0122
$a_1 \ln A$	2,3401	-	-	-
$a_2 \ln^2 A$	-0,3601	0,0845	-	-
$a_3 \ln^3 A$	-	-0,0137	-	-
$a_4 \ln N$	0,7567	-	-	-
$a_5 \ln^2 N$	-	-	-0,0620	-
$a_6 \ln D$	-	-	0,9553	3,1481
$a_7 H$	1,0163	-	-	-
$a_8 \ln H$	-	-	-1,1962	-3,6420
$a_9 \ln^2 A \ln N$	-	-	-	-0,0271
$a_{10} \ln A \ln N$	-	0,0261	-	-
$a_{11} H \ln^2 A$	0,0427	-	-	-
$a_{12} H \ln A$	-0,3870	-	-	-
$a_{13} H \ln D$	-0,0323	-	-	-
$a_{14} \ln A \ln D$	0,4445	-	-0,1281	-0,9162
$a_{15} \ln A \ln H$	-	-	-	0,7119
$a_{16} \ln M \ln D$	-	-0,0411	-0,1105	-
R^2	0,983	0,366	0,739	0,921
SE	0,131	0,081	0,212	0,153

Таблица 2

Густота древостоя, тыс. экз./га	D_{\max} , см	H_{\max} , м	M , м ³ /га	Надземная фитомасса в абс. сухом состоянии, т/га			
				стволов	скелета кроны	хвои	итого
1	23,3	22,0	450	170	16,0	6,5	192,5
2	19,0	20,0	475	183	16,9	8,2	208,1
3	16,3	18,5	480	185	16,7	9,2	210,9
5	13,0	16,0	450	174	14,8	9,9	198,7
10	8,8	12,0	360	142	11,0	9,7	162,7
20	5,5	8,5	240	97	7,0	8,8	112,8
35	3,7	6,1	155	64	4,5	7,2	75,7
60	2,4	4,2	95	42	3,0	5,8	50,8
90	1,7	3,1	65	31	2,1	5,1	38,2

на рис. 3. Цифровые значения надземной фитомассы, предельной для задаваемых густот, приведены в табл. 2.

Линии самоизреживания по всем фракциям фитомассы у разных пород существенно различаются как по форме кривых, так и по величине предельных показателей. Сопоставление названных линий для сосны (табл. 2) с аналогичными линиями для березы [11] показывает, что если у березы огибающая изменяется монотонно в процессе самоизреживания, то у

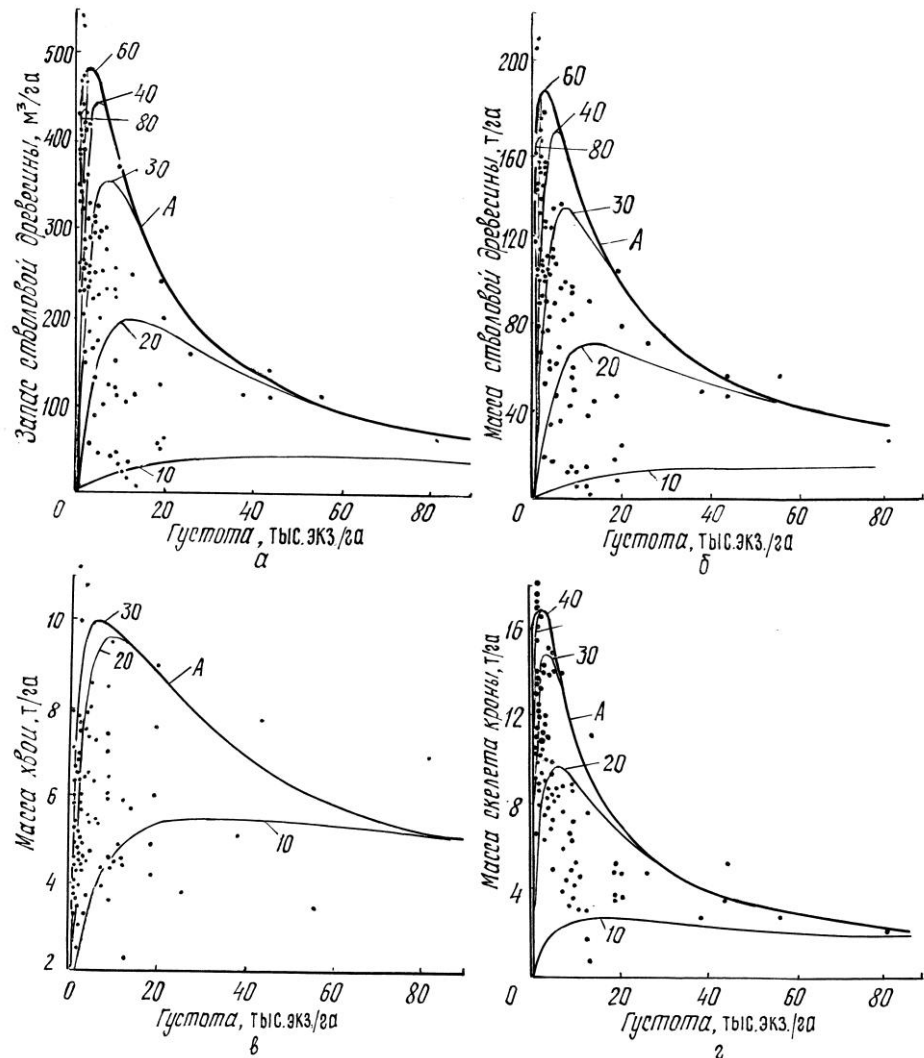


Рис. 3. Колоколообразные густотные кривые запаса стволовой древесины (а), массы стволов (б), массы хвои (в) и массы скелета кроны (г) сосняков в абс. сухом состоянии для различных возрастов (показаны цифрами), полученные последовательным табулированием системы рекурсивных уравнений (1) – (3); А – линии самоизреживания

сосны после непрерывного подъема огибающей на определенном возрастном этапе при соответствующей густоте следует ее снижение. Причем максимальные значения фитомассы разных фракций имеют место при разных густотах и на разных возрастных этапах: по стволам – в возрасте 60 лет при густоте 2–3 тыс.экз./га, по скелету кроны – в 40 лет при той же густоте и по хвое – в 30 лет при густоте 6–7 тыс.экз./га. В диапазоне густот от 35 до 2 тыс.экз./га предельные показатели надземной фитомассы у сосны значи-

тельно выше, чем у березы, и это превышение снижается с густотой от 240 до 140 %.

Таким образом, использование рекурсивной системы регрессионных уравнений позволило описать траектории устойчиво-предельных показателей запаса стволовой древесины и надземной фитомассы сосняков обширного Урало-Казахстанского региона. Приведенные результаты имеют предварительный характер. По мере накопления эмпирического материала они будут уточняться по каждому подрегиону отдельно, поскольку условия роста таежных сосняков Урала и степных сосняков Тургайского прогиба существенно различаются. Например, по количеству среднегодовых осадков различие двукратное. Сосна Казахского мелкосопочника характеризуется, в частности, необычной в сравнении с другими регионами, продолжительностью жизни хвои (до 7-8 лет) возможно, вследствие высокого природного радиационного фона. Пока описание предельных траекторий самоизреживания по показателям фитомассы сосняков для каждого отдельного подрегиона невозможно из-за недостаточного объема экспериментальных данных.

Наши результаты получены с использованием индуктивного метода, по принципу «от эксперимента» и не претендуют на какие-либо теоретические обобщения. По-видимому, следует согласиться с Г.Б. Кофманом [3], что регрессионные модели различной разрешающей способности в теоретическом плане играют вспомогательную роль и практически лишь расчищают плацдарм для будущих теорий и асимптотических моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузыкин А.И. Формирование и продуктивность древостоев // Формирование и продуктивность лесных фитоценозов. – Красноярск: Ин-т леса и древесины, 1982. – С. 5–7.
2. Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. – 176 с.
3. Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев. – Новосибирск: Наука, 1986. – 211 с.
4. Кузьмичев В.В. Эколого-ценотические закономерности роста одновозрастных сосновых древостоев: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1980. – 31 с.
5. Лосицкий К.Б., Чуенков В.С. Эталонные леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 191 с.
6. Пшеничникова Л.С. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты // Факторы продуктивности леса. – Новосибирск: Наука, 1989. – С. 36–52.
7. Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. – Новосибирск: Наука, 1988. – 253 с.
8. Усольцев В.А. Расчленение эдафической и ценотической составляющих продуктивности древостоев по данным густотного эксперимента // Леса Урала и хозяйство в них. – 1994. – Вып. 17. – С. 77–85.
9. Усольцев В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. – 217 с.

10. Усольцев В.А., Сальников А.А. Регрессионная модель предельных показателей фитомассы березовых древостоев // Лесн. журн. – 2000. – № 2. – С. 7–16. – (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Усольцев В.А., Усольцев А.В. Оценка предельных показателей продуктивности березовых древостоев по исходным данным составляющих их биогрупп // Лесн. журн. – 1996. – № 4–5. – С. 12–21. – (Изв. высш. учеб. заведений).
12. Blake J., Somers G., Ruark G. Estimating limiting foliar biomass in conifer plantations from allometric relationships and self-thinning behavior // Forest Sci. – 1991. – Vol. 37, N 1. – P. 296–307.
13. Gholz H.L. Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest // Ecology. – 1982. – Vol. 63, N 2. – P. 469–481.
14. Jarvis P.G., Leverenz J.W. Productivity of temperate deciduous and evergreen forests // Physiological plant ecology. IV. Ecosystem processes: Mineral cycling, productivity and man's influences / O.L. Lange et al. (eds.). – Berlin: Springer-Verlag, 1983. – P. 233–280.
15. Waring R.H. a. o. Variation in maximum leaf area of coniferous forests in Oregon and its ecological significance / R.H. Waring W.H. Emmingham, H.L. Gholz, C.C. Grier // Forest Sci. – 1978. – Vol. 24, N 1. – P. 131–140.

Уральская государственная лесотехническая академия,
Институт леса УрО РАН

Поступила 26.02.97

V.A.Usoltsev, A.V.Usoltsev

Regression Model of Limiting Phytomass Indices of Pine Stands

Based on the phytomass data of 100 test plots run in the pine stands of the Urals and the Kazakhstan region a recursive system of multifactorial regression equations has been computed. The model obtained provides a description of sustainable-and-limiting thickness trajectory of over-terrain phytomass (stems, branches, needle) for the pine stands in the region, above which the stands can't exist as a forest biocenosis.

УДК 630*11.51-7

П.М. Мазуркин, Н.В. Русинова

Мазуркин Петр Матвеевич родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной экологии и технологии природопользования Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки и техники Республики Марий Эл, эксперт СНГ по машиностроению, представитель Золотого фонда циклистов СНГ. Имеет более 500 печатных работ в области функционально-конструктивного блочно-модульного синтеза манипуляторных машин и биотехнических систем.



Русинова Наталья Владимировна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Марийский государственный технический университет, программист кафедры инженерной экологии и технологии природопользования. Имеет 3 печатные работы.

**ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОЩАДИ МЕСТА ПРОИЗРАСТАНИЯ
ЛИДИРУЮЩЕГО ДЕРЕВА**

На основе экспериментальных и расчетных данных установлена зависимость площади места произрастания лидирующего дерева ели и сосны от его возраста и числа окружающих деревьев.

лидирующее дерево, матмодель изменения площади произрастания (экспонента), смешанные леса, Поволжье.

Лес как биосистема, связанная сложными взаимоотношениями многих видов живых существ (от микроорганизмов до деревьев), находится под влиянием постоянно действующих внешних (например антропогенное воздействие) и внутренних (различные последствия конкуренции) факторов. Она способна восстанавливаться после небольших нарушений в процессе устойчивого роста и развития. Однако при значительных внешних воздействиях, особенно рубках леса, возврат к прежнему состоянию может оказаться невозможным [4].

Цель статьи – по экспериментальным данным определить вид математической модели, описывающей изменение площади места произрастания лидирующего дерева. Это поможет понять закономерности территориального распределения деревьев в ходе их жизненного цикла, а в хозяйственном отношении избежать нарушений экологического состояния биосистемы дерево – место произрастания, вызванных непродуманным антропогенным

воздействием человека (в частности при лесозаготовках и рубках ухода за лесом).

Условия мест произрастания деревьев-лидеров исследовали летом 1997 г. в смешанных лесах Таирского лесничества Кокшайского лесхоза Республики Марий Эл. Объектом изучения была ель. Благодаря своей теневыносливости она способна вытеснить остальные породы и сформировать первый ярус древостоя. Кроме того, в определенных лесорастительных условиях ель имеет высокоценную резонансную древесину.

На таксационном выделе из первого яруса выбирали деревья, лучшие по форме ствола и кроны, высоте и диаметру. Учитывали также соседние деревья. При этом лидер одной такой био группы приходился соседом лидера другой био группы. В результате замеров получили пробную площадь в виде многоугольника, вершины которого расположены в центрах стволов граничных деревьев.

В разновозрастном древостое деревья старшего поколения являются лидерами и оказывают угнетающее воздействие на остальные части насаждения. По данным статистического моделирования, площадь произрастания лидеров в ходе их роста изменяется по экспоненциальному закону

$$S_{\text{л}} = 1,6663 \cdot 10^{-6} Z_{\text{ок}}^{13,2342} \exp(-1,2041 Z_{\text{ок}}) + 0,1406 D_{1,3}^{1,7737}, \quad (1)$$

где $S_{\text{л}}$ – площадь произрастания лидера в био группах, м²;

$Z_{\text{ок}}$ – число деревьев вокруг лидера, шт.;

$D_{1,3}$ – диаметр лидирующего дерева, см.

Фактические \hat{S} и расчетные S значения площади произрастания лидеров приведены в табл. 1. Первая составляющая двухфакторной статистической модели (1) соответствует биотехническому закону [3] и характеризует процесс стрессового воздействия окружающих деревьев на лидирующее дерево. Причем для данного множества смежных био групп со своими лидерами существует оптимальное число соседних деревьев. С увеличением диаметра ствола дерева-лидера потребная площадь возрастает по аллометрическому закону.

По остаткам $\varepsilon = \hat{S} - S$ определяется относительная погрешность $\Delta = 100 \varepsilon / \hat{S}$, по максимальному значению которой Δ_{max} оценивается доверительная вероятность $100 - \Delta_{\text{max}}$. Из данных табл. 1 видно, что максимальная относительная погрешность формулы (1) равна 108,2 %, поэтому доверительная вероятность ее применения ниже нуля. Далее методом редукции исключаем наблюдение с высокой погрешностью и получаем формулу

$$S_{\text{л}} = 0,003639 Z_{\text{ок}}^{11,0036} \exp(-1,3907 Z_{\text{ок}}) + 0,6061 D_{1,3}^{1,2045}. \quad (2)$$

Таблица 1

Изменение площади места произрастания елей-лидеров, м²

Z _{ок} , шт.	D _{1,3} , см	Модель (1)				Модель (1)			
		\hat{S}	S	ϵ	Δ , %	\hat{S}	S	ϵ	Δ , %
9	61	336,29	347,19	-10,9	-3,24	336,29	336,29	-0,0001	0
7	49	94,16	196,08	-101,9	-108,2	-	-	-	-
10	48	270,62	305,35	-34,7	-12,83	270,62	270,62	0,0002	0
6	52	245,22	179,78	65,4	26,69	245,22	245,22	-1,9e-0,7	0
9	48	357,78	275,74	82,0	22,93	357,78	357,78	-1,5e-0,5	0

Таблица 2

Расчетные значения площади места произрастания елей-лидеров, м²

Z _{ок} , шт.	Диаметр лидера на высоте груди D _{1,3} , см								
	0	10	16	24	32	40	48	54	60
0	0	-9,7	-17,1	-27,9	-39,4	-51,5	-64,2	-74,0	-84,0
2	0,47	-9,2	-16,6	-27,4	-38,9	-51,1	-63,7	-73,5	-83,5
4	59,7	49,9	42,6	31,8	20,3	8,2	-4,5	-14,3	-24,3
6	320,4	310,7	303,3	292,5	280,9	268,8	256,2	246,4	236,4
8	470,4	460,7	453,3	442,6	431,0	418,9	406,2	396,4	386,4
10	339,5	329,8	322,4	311,7	300,1	287,9	275,3	265,5	255,5

Доверительная вероятность формулы (2) приблизилась к 100 %, поэтому возможно ее применение для последующих расчетов. Здесь же заметим, что совокупности биогрупп подобрать трудно из-за чрезвычайно большого их разнообразия, поэтому применение метода исключения резко отклоняющихся наблюдений в статистическом моделировании вполне возможно.

Для более точного изучения влияния фактора на лидирующее дерево были сделаны расчеты (табл. 2). Из них следует, что при отсутствии окружающих деревьев получается мнимая площадь. Она показывает область одиночно растущего дерева. С увеличением числа окружающих деревьев с определенного возраста начинается конкуренция за территорию, т. е. наблюдается «ход роста» площади.

На рис. 1 приведены графики хода роста площади произрастания, в которых сплошными линиями ограничены фактические границы интервалов

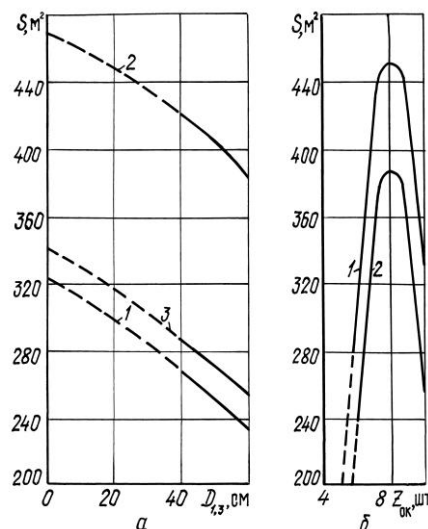


Рис.1. Графики изменения потребной площади произрастания деревьев ели: а – в зависимости от диаметра на высоте груди; 1 – 3 – Z_{ок} равно соответственно 6, 8, 10 шт.; б – в зависимости от числа окружающих деревьев; 1, 2 – D_{1,3} равно 16 и 60 см

изменения влияющих факторов (по табл. 1): $Z_{ок} = 6 \dots 10$ шт.; $D_{1,3} = 48 \dots 61$ см. Математическая модель вне этих интервалов должна быть проверена дополнительными экспериментами на биогруппах, содержащих деревья ели молодого возраста.

Как видно из табл. 2 и рис.1, площадь места произрастания лидирующего дерева с увеличением числа окружающих его деревьев растет до определенного предела, а затем начинает уменьшаться. По-видимому, этот скачок роста характеризует отрыв лидера от окружения. Критический возраст, при котором происходит это явление, можно определить по критическому значению диаметра ствола. При этом толщина дерева как бы заменяет его возраст [3].

Площадь места произрастания дерева изучали также по данным экспедиции, проведенной в 1963 г. в Сибири [1, 2]. Обработка первичной информации по разновозрастным соснякам позволила получить формулу для определения площади произрастания сосен первого поколения в виде

$$S_{л} = 1,7101Z_{ок}^{2,3041} - 1,3963 \cdot 10^{-9} D_{1,3}^{5,8370} . \quad (3)$$

Формула (3) характеризует изменение площади произрастания по обеим составляющим в соответствии с аллометрическим законом. Это указывает на то, что число деревьев, окружающих лидера, еще не достигает критического значения из-за соседства деревьев различных поколений. Для моделирования по карте опытной площади разновозрастного сосняка отбирали пять смежных биогрупп. Фактические и расчетные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3

Изменение площади места произрастания лидеров первого поколения в разновозрастных сосняках, м²

$Z_{ок}$, шт.	$D_{1,3}$, см	\hat{S}	S	ε	Δ , %
8	42,4	164,41	201,58	-37,17	-22,61
9	52,6	292,09	254,70	37,39	12,80
9	74,8	146,70	149,16	-2,49	-1,70
12	66,2	460,75	464,94	-4,19	-0,91
5	56,2	52,84	46,93	5,91	11,18

Таблица 4

Расчетные значения площади места произрастания сосен-лидеров в разновозрастных сосняках, м²

$Z_{ок}$, шт.	Диаметр на высоте груди $D_{1,3}$, см								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
0	0	0,001	-0,06	-0,6	-3,1	-11,5	-33,4	-82,2	-179,2
2	8,5	8,4	8,4	7,9	5,3	-3,1	-25,0	-73,7	-170,7

4	41,7	41,7	41,7	41,1	38,6	30,2	8,3	-40,5	-137,5
6	106,2	106,2	106,1	105,6	103,0	94,6	72,7	24,0	-73,0
8	206,0	206,0	205,9	205,4	202,8	194,5	172,6	123,8	26,8

Придавая конкретные значения переменным $Z_{ок}$ и $D_{1,3}$ через заданные интервалы, можно определить ход изменения площади произрастания сосен-лидеров. Результаты расчетов представлены в табл. 4, а графики изменения площади в пределах интервалов фактического изменения факторов $Z_{ок} = 5 \dots 12$ шт. и $D_{1,3} = 42,4 \dots 74,8$ см приведены на рис. 2. Сопоставление закономерностей (2) и (3) для ельников и сосняков показывает, что формула (3) является частным случаем уравнения (2). Поэтому можно принять, что площадь места произрастания лидирующих деревьев в биогруппах (как однородных, так и разнородных) изменяется по общему закону

$$S = a_1 Z_{ок}^{a_2} \exp(-a_3 Z_{ок}) \pm a_4 D_{1,3}^{a_5}, \quad (4)$$

в котором для сосен Сибири $a_3 = 0$, знак перед второй составляющей отрицателен (для деревьев ели положителен).

Из табл. 4 и рис. 2 видно, что с увеличением числа соседних деревьев площадь занимаемая сосной-лидером, уменьшается и в определенном возрасте возможен отрыв от окружающих деревьев.

Возраст, с которого начинается отрыв лидера от окружения, можно определить по критическому диаметру $D_{1,3}^{кр}$. Для этого в формуле (3) необходимо площадь произрастания принять равной нулю. Тогда получаем соотношение

$$1,701 Z_{ок}^{2,3041} = 1,3963 \cdot 10^{-9} D_{1,3}^{кр 5,8370}, \quad (5)$$

из которого выводится формула для расчета критического диаметра (при заданном числе окружающих деревьев) и критического окружения (при заданном диаметре ствола на высоте 1,3 м у лидера). Например, при $Z_{ок} = 2$ шт. образуется $D_{1,3}^{кр} \approx 45$ лет, а при $Z_{ок} = 6$ шт. соответственно $D_{1,3}^{кр} \approx 73$ года. Таким образом, из своего окружения дерево-лидер посте-

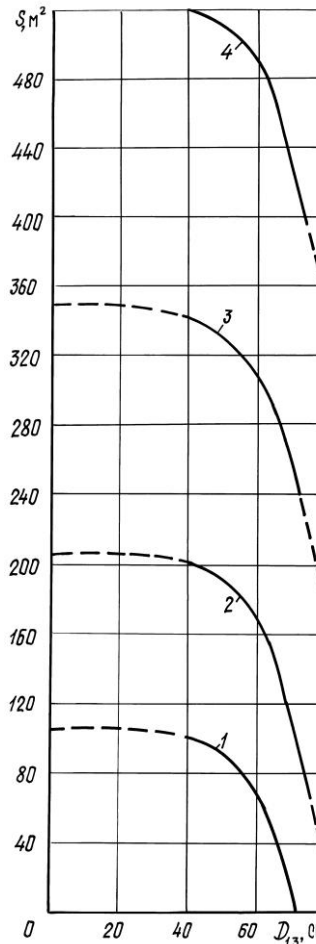


Рис. 2. Графики зависимости площади произрастания сосен-лидеров от изменения диаметра и числа окружающих деревьев: 1 – 4 – $Z_{ок}$ равно 6, 8, 10, 12 шт.

пенно вырывается по мере роста, и этот момент отрыва лидера зависит от числа окружающих его деревьев.

Сравнивая результаты, полученные для ельников Республики Марий Эл и сосняков Сибири, можно видеть, что площадь места произрастания сосны, уже ставшей лидером, находится в обратной зависимости от его возраста и числа окружающих деревьев. В ельниках с увеличением числа соседних деревьев наблюдается некоторое максимальное значение площади, затем оно снижается.

Таким образом, площадь места произрастания лидирующего дерева внутри биогруппы зависит как от параметров окружающих деревьев, так и от собственных факторов его роста и развития. Математическая модель (4) может быть рекомендована в качестве основы для идентификации экспериментальных данных по изучению мест произрастания деревьев в древостое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верхунов П. М.* Закономерности строения разновозрастных сосняков. – Новосибирск: Наука, 1976. – 255 с.
2. *Верхунов П. М., Дворецкий М. Л.* Таксация модельных деревьев и их разнородных совокупностей: Учеб. пособие. – Горький: ГГУ, 1979. – 100 с.
3. *Мазуркин П. М., Колесникова А. А.* Моделирование в биометрии, экологии и природопользовании: Примеры для практических занятий и НИРС. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – 52 с.
4. *Петров В.В.* Жизнь леса и человек. – М. : Наука, 1985. – 132 с.

Марийский государственный технический университет

Поступила 05.11. 98

P.M. Mazurkin, N.V. Rusinova

Changing of the Growing Area of the Leading Tree

The dependence of the growing area of the leading tree (spruce, pine) on its age and number of the trees in the environment has been established based on the experimental and estimated data.

УДК 630*414.22

А.Н. Белов

Белов Анатолий Николаевич родился в 1949 г., окончил в 1972 г. Московский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией арборицидов Всероссийского НИИ химизации лесного хозяйства. Имеет более 80 печатных трудов в области лесоведения, лесозащиты и экологии.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ОСЕДАНИЯ ПЕСТИЦИДОВ ПО ВЕРТИКАЛИ КРОНОВОГО ПРОСТРАНСТВА В БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ

Приведены материалы измерений плотности оседания химических препаратов на разных высотных уровнях полого березового леса. Дано уравнение зависимости количества препарата от расстояния до вершины кроны.

авиаопрыскивание, пестициды, глифосат (раундап), береза, линейная регрессия (в логарифмах).

Использование химических средств в лесохозяйственном производстве предполагает достижение максимального положительного эффекта при минимальных негативных последствиях. При планировании мероприятий по защите и уходу за лесом посредством авиационных опрыскиваний полого важно знать закономерности распределения плотности оседания (ПО) токсиканта, в частности наличие достоверных количественных сведений о соотношении долей этого вещества, оседающего в кронах деревьев на разной высоте.

В ходе исследовательских и прикладных работ неоднократно отмечалось, что при авиаопрыскивании основная масса химического препарата задерживается верхними слоями полого леса, а доля вещества, проникающего в нижние части полого, зависит от архитектоники крон, густоты древостоя и т. д. Как правило, наблюдения за особенностями пространственного распределения токсикантов проводились по косвенным признакам (интенсивности их воздействия на целевые объекты на разной высоте крон), поскольку прямое измерение ПО препаратов в полевых условиях технически затруднено. В связи с этим не представляется возможным использовать полученные сведения в схемах математической оптимизации работ с применением средств химии в лесном хозяйстве.

Наше исследование проведено в березовых древостоях Костромской области в период с 1987 г. В качестве токсиканта использовали глифосат (раундап) и имитаторы – нейтральные вещества, физические характеристики которых (плотность, кинематическая вязкость, поверхностное натяжение,

скорость испарения) соответствовали аналогичным параметрам фитотоксического препарата. Последний наносили с помощью специального устройства, смонтированного на стреле автомобильного подъемника и имитирующего авиационное опрыскивание на ограниченном пространстве отдельных куртин деревьев. Опрыскивающее устройство имело штангу длиной 8 м с закрепленными на ней через 1,4 м рабочими головками опрыскивателя «Герби-77». Система подачи препарата принудительная, обеспечивалась перистальтическими насосами. Конструкция позволяла варьировать норму расхода препарата в широком диапазоне и четко выдерживать заданные ее значения.

Для измерений плотности оседания вещества токсиканта (имитатора) подбирали дерево в возрасте от 15 до 30 лет в центре куртины, намеченной к химобработке. Перед обработкой у вершины дерева и на границе каждого из 5-8 высотных слоев кроны (толщиной от 0,7 до 1,1 м) с четырех сторон ствола жестко устанавливали тонкие рейки, на которых предварительно были закреплены средства технического контроля (СТК) в виде фильтров АФА или предметных стекол через 25 см по всему диаметру кроны. В одном опыте было до 400 подложек СТК.

Сразу после опрыскивания СТК анализировали в условиях полевой лаборатории. ПО оценивали методом спектрофотометрии с использованием приборов фирмы «Джилфорд» (модель 240), США и «Ультроспек П» (модель 4050), Швеция. Химический анализ смывов выполняли, руководствуясь общепринятыми правилами химико-аналитических работ [1, 2].

В большей части опытов норма расхода препарата колебалась от 2,5 до 5,0 кг в пересчете на 1 га; при использовании вещества-имитатора опробованы нормы расхода 10 ... 15, а в отдельных случаях 50 ... 100 кг/га. Широкий диапазон норм расхода препарата и имитатора позволил при статистической обработке результатов использовать корреляционно-регрессионные способы математического анализа.

В проведении опытов участвовали Е.Н. Радченко, В.И. Радченко, Г.В. Кучер и другие сотрудники Всероссийского НИИ химизации лесного хозяйства.

При анализе полученных данных помимо абсолютных использовали относительные оценки ПО препарата на отдельных высотных уровнях – в процентах от плотности оседания на нулевом уровне (вершина дерева).

Расхождения в оценках относительной ПО на одних и тех же высотных уровнях характеризуются коэффициентом вариации 24 %, что указывает на значительную изменчивость этой величины [4]. Соотношение «средняя арифметическая меньше дисперсии» для относительной ПО на одних и тех же высотах также, согласно [3], показывает, что помимо случайного варьирования имеет место изменчивость в связи с действием определенных факторов. Однако к их числу не относится различие в норме расхода препарата. Связь последней с относительной ПО на одних и тех же высотных уровнях характеризуется коэффициентом корреляции – $0,085 \pm 0,380$, т. е.

практически отсутствует. По-видимому, вариабельность относительной ПО в основном связана с индивидуальной изменчивостью крон деревьев березы.

Зависимость плотности оседания препарата от местоположения СТК в кроне (расстояния от вершины дерева, т. е. нулевого уровня) имеет ярко выраженную гиперболическую форму: вначале резкое, затем все более замедляющееся падение по мере удаления от вершины. При преобразовании исходных данных по логарифмическому типу получаем вполне выраженную линейную форму

$$\lg y = 4,186 - 3,631 \lg (x + 4),$$

где y – относительная ПО, % от плотности у вершины дерева;

x – высотный уровень, расстояние от вершины дерева, м.

Коэффициент корреляции для этого уравнения равен $-0,969 \pm 0,037$ при вероятности более 99,9 %, ошибка уравнения $\pm 0,119$ [5]. Значение коэффициента сглаживания, равное 0,952, свидетельствует о высокой степени аппроксимации экспериментальных данных приведенным уравнением регрессии.

Поскольку это уравнение аккумулирует данные для всей совокупности опытных деревьев, его анализ позволяет выявить наиболее типичные особенности оседания вещества препарата по вертикальному профилю крон деревьев.

Из таблицы видно, что плотность оседания быстро уменьшается по мере продвижения от вершины к основанию кроны дерева. На расстоянии 1 м от вершины она составляет 44,5 % от нулевого уровня, на 2 м – 22,9 % и т. д., на 8 м всего лишь 1,8 % от исходной, т. е. крона березы протяженностью 8 м задерживает 98,2 % вещества препарата.

Разность значений плотности оседания в начале и конце каждого последовательного метрового вертикального слоя кроны дает картину распределения исходного количества вещества токсиканта по этим слоям, т. е. абсолютную оценку доли вещества, задержанного метровым слоем (% от плотности оседания на нулевом уровне). В свою очередь, доля полученную оценку на плотность оседания в начале каждого метрового слоя кроны, можно рассчитать относительную долю вещества, задержанного каждым слоем (% от количества препарата, проникающего к верхней границе слоя).

Из таблицы видно, что чем выше располагался метровый слой кроны, тем сильнее проявлялись его фильтрационные свойства. Так, первый сверху метровый слой задержал более половины (55,5 %), пятый – чуть более трети (34,6 %) вещества токсиканта от его количества на верхней границе слоя. Основные причины этого явления, на наш взгляд, заключаются, во-первых, в уменьшении насыщенности кронового пространства листовой массой в направлении сверху вниз; во-вторых – в снижении доли мелкодисперсных фракций токсического вещества и, соответственно, интенсивности его испарения в том же направлении. (Оценки относительной доли вещества, задержанного метровыми слоями крон, в таблице отражают как процесс

оседания капель токсиканта на кроновую фитомассу, так и процесс их испарения).

Расстояние от вершины дерева, м	Плотность оседания (γ), %	Распределение препарата по слоям кроны (z), %	Относительная доля вещества, задержанного метровым слоем кроны (z/γ)
0	100,0	55,5	0,555
1	44,5	21,6	0,485
2	22,9	9,8	0,428
3	13,1	5,0	0,382
4	8,1	2,3	0,346
5	5,3	1,7	0,321
6	3,6	1,1	0,300
7	2,5	0,7	0,280
8	1,8		

Результаты исследования показывают, что при имитации авиационного опрыскивания 15–30-летних березовых древостоев (плотность оседания вещества токсиканта по вертикальному профилю полого леса имеет ярко выраженную гиперболоидную форму: в направлении от вершины к основанию кроны сначала наблюдается ее резкое падение, затем скорость падения затухает.

Полученное в результате корреляционно-регрессионного анализа уравнение позволяет с высокой статистической достоверностью прогнозировать ожидаемую плотность оседания токсического вещества на любом высотном уровне кронового пространства и долю вещества, задерживаемого вертикальными слоями полого березового леса любой толщины. Уравнение дает возможность проводить расчеты при варьировании плотности оседания вещества препарата на уровне верхней границы полого в диапазоне от 2,5 до 100 кг/га.

Выявленные регрессионные соотношения могут быть использованы для оценки эффективности воздействия химических препаратов на зеленую кроновую фитомассу березовых молодняков и вредную энтомофауну в пологе березовых древостоев, а также количества химического вещества, проникающего в подкромное пространство в условиях авиационных обработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.Н.* Количественный анализ. – М.: Высш. шк., 1972. – 581 с.
2. *Алексеев В.Н.* Курс качественного химического полумикроанализа. – М.: Высш. шк., 1973. – 580 с.
3. *Грейг-Смит П.* Количественная экология растений. – М.: Мир, 1967. – 360 с.
4. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Колос, 1979. – 416 с.
5. *Труль О.А.* Математическая статистика в лесном хозяйстве. – Минск: Высш. шк., 1966. – 234 с.

Всероссийский НИИ химизации лесного хозяйства

Поступила 15.06. 98

A.N. Belov

Density Distribution of Pesticide Sedimentation along the Vertical Birch Stands Crowns

The data on chemical sedimentation measurement at different altitude levels of the birch stand crown are presented. The equation reflecting the relationship between the quantity of the chemicals and distance to the crown top is given.

УДК 630*232.324.3:630*561

Л.С. Пшеничникова

Пшеничникова Лариса Семеновна родилась в 1946 г., окончила в 1968 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет 80 печатных работ по вопросам лесоведения, лесоводства.



РОСТ СОСНЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПОСАДКАХ РАЗНОЙ ГУСТОТЫ*

Рассмотрен продукционный процесс 17-летних сосновых ценозов, созданных искусственным путем в подзоне южной тайги Красноярского края. Выявлено существенное влияние густоты на текущий прирост и основные таксационные показатели ценозов.

17-летние сосновые ценозы, подзона южной тайги, полиномы 2-й степени, влияние густоты.

С давних пор в лесоведении была актуальна задача поиска оптимальных режимов лесовыращивания, которые обеспечивали бы наивысший текущий прирост древесины и биомассы на единице площади. Однако в естественных условиях реальная продуктивность лесного фитоценоза не совпадает с потенциальной. Сдерживающей причиной является конкуренция между растениями за ресурсы среды, с одной стороны, и реакция растений на плотность ценопопуляции – с другой. Вследствие этого масса растений в ценозе может различаться на 2-3 порядка [1, 7].

Изначально растущие свободно древесные растения (до смыкания крон) по своему ценотическому положению примерно равноправны, даже имея разные размеры [4]. В процессе формирования насаждений деревья меняют свое ценотическое положение по-разному [6, 8]. Отмечается более устойчивое положение самых крупных и отстающих деревьев и подвижность средних [3, 5]. Однако недостаточна информация о том, как происходит этот процесс во времени, особенно до смыкания крон насаждения и после него, как эти перемещения связаны с конкуренцией, влиянием соседей.

В густых насаждениях процесс дифференциации деревьев протекает быстрее, естественное изреживание ускоряется. Но нет информации о том, как густота влияет на организационный строй ценопопуляции, особенно в

* Работа выполнена при поддержке Красноярского фонда науки (грант 7 F0110).

пространстве. Изменение структуры формирующихся насаждений разной густоты во временном аспекте практически не изучено.

В 1982 г. сотрудниками лаборатории лесоводства Института леса СО РАН был заложен эксперимент в подзоне южной тайги Красноярского края, Большемурутинском лесхозе, на серых лесных почвах. На площади 15 га созданы посадки 2-летних сеянцев сосны, ели, лиственницы, кедра по 18 вариантам густоты для каждой породы (от 0,5 до 128 тыс. экз./га). В каждом варианте густоты высаживали не менее 500 растений. Этот эксперимент рассчитан на получение информации о структуре, росте, продуктивности, форме стволов, вступлении в репродукцию, биометрических показателей особей и сообществ и других зависимых от густоты характеристик. Результаты подобных экспериментов весьма важны для дальнейшего развития как теоретических основ лесовыращивания, так и для практики лесоводства. В.А. Усольцевым [10] показано, что чистый эксперимент на статистическом наборе временных пробных площадей в принципе невозможен, поскольку одной и той же текущей густоте при неизвестной начальной может соответствовать несколько уровней продуктивности.

Цель настоящей работы – оценить влияние густоты на рост и продуктивность молодых насаждений сосны.

Как показали исследования, спустя 15 лет после посадки густота основных ценозов уменьшилась в 1,1–2,6 раза и составила 0,24 ... 50 тыс. шт./га. При этом чем гуще были посадки, тем интенсивнее происходил отпад.

Выяснилось, что 17-летние сосновые ценозы разной густоты существенно различаются по таксационным и биометрическим показателям, а их зависимость от густоты имеет закономерный характер (табл. 1).

Таблица 1

Густота, тыс. шт./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Относительная высота (H/D)	Сумма площадей сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га
0,24	10,5	5,6	54	2,0	6,0
0,43	11,0	5,8	58	4,1	12,7
0,57	11,5	6,1	53	5,9	19,1
0,84	11,0	6,3	54	8,0	24,7
1,2	10,8	6,4	60	11,0	36,5
2,1	9,7	6,2	64	15,6	54,4
3,5	8,9	5,9	66	21,6	72,0
6,5	7,5	6,0	80	29,1	101,1
7,8	6,7	5,7	85	27,4	93,9
9,9	6,2	5,5	89	29,3	94,1
12,3	5,7	5,8	102	31,9	101,0
14,2	5,8	6,0	103	38,1	127,8
18,6	5,5	5,9	107	44,6	148,6
21,9	4,8	5,7	119	39,8	131,2
32,7	4,5	5,8	127	54,0	180,0
36,9	4,3	5,7	132	55,2	195,8
50,0	4,2	5,5	133	70,3	242,8

Изменение среднего диаметра ценозов в густотном ряду происходит неоднозначно. Средний диаметр свободно растущих деревьев в вариантах с густотой посадки 500 ... 1000 шт./га возрастает с увеличением плотности, по мере дальнейшего загущения ценозов его значения снижаются. Максимальное и минимальное значения среднего диаметра различаются в 2,7 раза. Увеличение диаметра стволов в редких ценозах можно объяснить влиянием так называемого эффекта группы, который проявляется во взаимопомощи и активном функционировании группы растений по мере перехода от одиночного стояния к групповому [9]; снижение диаметра с густотой при загущении ценозов происходит в результате накопления тонкомера и уменьшения числа крупных особей. В общем виде связь среднего диаметра с густотой ценозов аппроксимируется степенным уравнением

$$y = 9,9804x^{-0,2093}, R^2 = 0,93.$$

Распределение количества деревьев по диаметру в разнугустотных ценозах представлено одновершинными простыми рядами, которые существенно различаются между собой (рис. 1). В ценозах невысокой густоты ряды распределения более растянуты по сравнению с загущенными вследствие широкой представленности как крупных, так и мелких деревьев. С увеличением плотности ценозов и уменьшением размеров деревьев ряды распределения по диаметру сужаются, изменяются их статистические показатели. Так, в крайне редком и крайне загущенном ценозах коэффициенты изменчивости различаются в 2 раза и составляют соответственно 24,8 и 47,3 %, а отрицательное значение коэффициента асимметрии (-0,73) меняется на положительное (+0,66) – табл. 2. Связь этих коэффициентов с густотой аппроксимируется следующими уравнениями полинома 2-й степени:

коэффициент вариации – густота

$$y = -0,0197x^2 + 1,4018x + 22,233, R^2 = 0,871;$$

коэффициент асимметрии – густота

$$y = -0,0007x^2 + 0,0642x - 0,7332, R^2 = 0,943.$$

Средняя высота под влиянием плотности ценоза изменяется не столь заметно, как средний диаметр. Диаметр среднего дерева сильнее отстает в

Рис. 1. Распределение относительного количества деревьев по 1-сантиметровым ступеням толщины в 17-летних сосновых ценозах разной густоты. Цифрами обозначена густота, тыс. шт./га

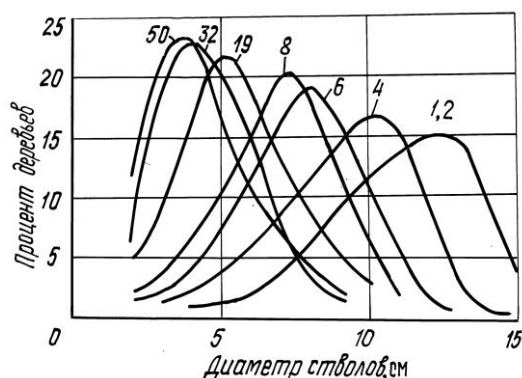


Таблица 2

Густота, тыс.шт./га	Средний диаметр, см	Коэффициент изменчивости, %	Показатель асимметрии
0,24	10,20 ± 0,15	24,8	-0,73
0,43	10,80 ± 0,13	21,7	-0,86
0,57	11,30 ± 0,13	20,1	-0,50
0,84	10,60 ± 0,17	21,7	-0,59
1,2	10,50 ± 0,14	19,6	-0,53
2,1	9,40 ± 0,13	26,2	-0,65
3,5	8,50 ± 0,12	28,6	-0,64
6,5	7,20 ± 0,09	29,9	-0,46
7,8	6,40 ± 0,10	32,0	-0,35
9,9	5,80 ± 0,10	36,9	-0,31
12,3	5,30 ± 0,11	40,9	0,09
14,2	5,40 ± 0,13	40,1	0,07
18,6	5,20 ± 0,12	41,1	0,12
21,9	4,40 ± 0,13	47,6	0,54
32,7	4,20 ± 0,10	39,5	0,60
36,9	4,10 ± 0,10	43,0	0,49
50,0	3,80 ± 0,12	47,3	0,66

росте по мере загущения. В пределах густотного ряда амплитуда средних высот не превышает 1 м, а коэффициент изменчивости равен 4,4 %. Теснота связи средней высоты с густотой характеризуется как умеренная и отрицательная ($r = -0,53$).

Диспропорция роста в высоту и по диаметру в зависимости от густоты отчетливо прослеживается у деревьев одинаковой толщины. Как видно из рис. 2, высота деревьев возрастает от редких к загущенным вариантам в 1,2–1,6 раза в зависимости от протяженности густотного ряда, амплитуда высот составляет 1,0 ... 2,6 м. Чем больше диапазон высот, тем эти показатели больше. Связь высот деревьев разного диаметра с густотой ценоза аппроксимируется степенными уравнениями ($R^2 = 0,75 \dots 0,95$).

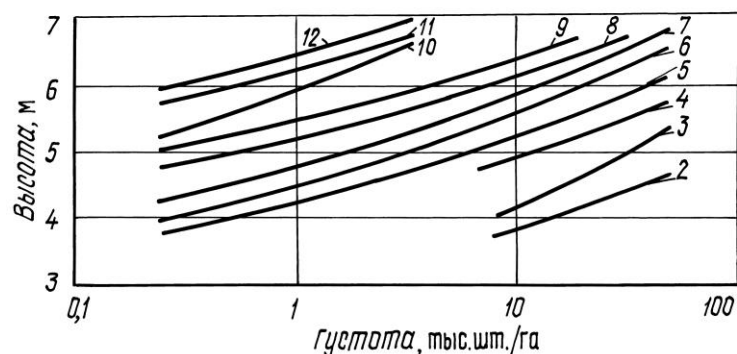


Рис. 2. Зависимость высоты деревьев разной толщины от густоты ценозов. Цифрами обозначены диаметры стволов

Относительная высота среднего дерева (H/D) увеличивается в 2,5 раза от редких ценозов к загущенным и изменяется в пределах 54 ... 133. Это свидетельствует о том, что в насаждении функционируют ценоотические механизмы регуляции роста и численности деревьев в связи с густотой. Реакция организма на изменение густоты в процессе конкуренции выражается в диспропорции прироста в высоту и по диаметру. Как результат крайнего напряжения роста количество сухостоя в загущенных ценозах составляет 60 % от общего числа стволов.

Несмотря на уменьшение показателей роста деревьев с усилением конкуренции, запас стволовой древесины растущих деревьев и абсолютная полнота тесно коррелируют с густотой, достигая наибольшего значения в самом загущенном варианте – соответственно 243 м³/га и 70 м²/га. Зависимость показателей продуктивности от густоты хорошо аппроксимируется степенным уравнением ($R^2 = 0,96$).

Для оценки реакции отдельных деревьев на густоту мы попытались проанализировать динамику прироста в высоту и по диаметру у деревьев одинаковой толщины, представленных во всех вариантах густот. Для этой цели был подобран ряд модельных деревьев с диаметром ствола 7 см. Мы исходили из того, что изначально с момента посадки древесные растения находились в одинаковых условиях роста и были одинакового размера и качества. В процессе формирования насаждений меняется ценоотический статус модельного дерева: в загущенных вариантах учетные деревья являются лидирующими

(I класс роста), в редких относятся к III-IV классам роста.

(I класс роста), в редких относятся к III-IV классам роста.

После смыкания и перекрытия крон в густых ценозах начинает проявляться острая конкуренция за ресурсы среды, в результате чего прирост в высоту здесь снижается, а в редких, напротив, усиливается и с 15 лет оказывается выше, чем в загущенных (рис. 3). Контрастные по густоте ценозы характеризуются различной стратегией роста, которая аппроксимируется соответствующими функциями: полино-

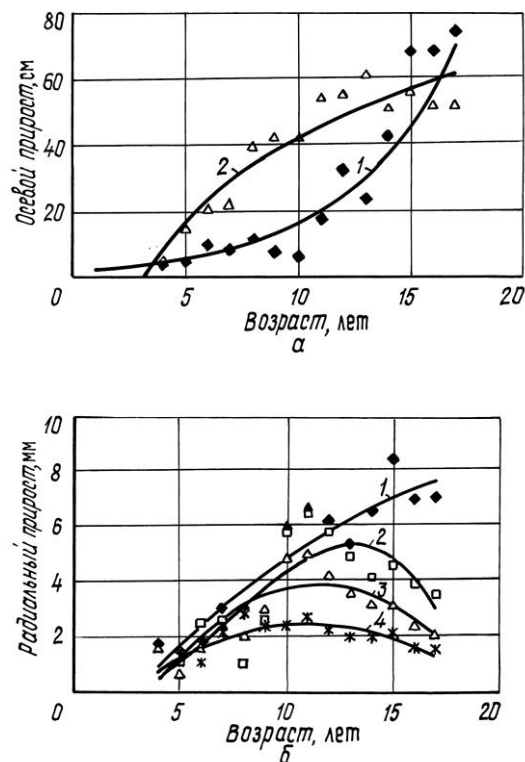


Рис. 3. Динамика осевого (а) и радиального (б) прироста в сосновых ценозах разной густоты: 1 – 0,4; 2 – 3,5; 3 – 10; 4 – 50 тыс. шт./га

мом 2-й степени и степенным уравнением ($R^2 = -0,86 \dots -0,89$).

Радиальный прирост осевого побега в редких ценозах с возрастом пропорционально увеличивается, а в сомкнутых эта зависимость имеет характер нормального распределения. При этом максимальные значения прироста по мере загущения смещаются в сторону более раннего возраста. Так, при густоте 4 тыс. шт./га наибольший прирост отмечается в 14 лет, при густоте 50 тыс. шт./га – в 11 лет. Независимо от густоты ценоза связь между радиальным приростом и возрастом аппроксимируется полиномом 2-й степени ($R^2 = 0,70 \dots 0,86$).

Прирост осевого побега в 5–14-летнем древостое пропорционален густоте, затем положительная связь ослабевает и к 17 годам становится отрицательной. Зависимость радиального прироста от густоты в 5-летнем возрасте не прослеживается, в 8 лет она имеет характер нормального распределения. Максимальные значения прироста соответствуют густоте около 30 тыс. шт./га. В 14 ... 17 лет максимальные значения прироста смещаются к редким густотам, а зависимость имеет вид ниспадающей кривой и выражается степенным уравнением с коэффициентом детерминации 0,91 ... 0,92 (рис. 4).

В силу молодого возраста адаптация растений, вероятно, проявилась не в полной мере. Насаждения находятся в активной стадии роста, сопряженной с конкурентными взаимоотношениями между индивидами и проявлениями ценотических эффектов.

В более благоприятных лесорастительных условиях Литвы кривая нормального распределения зависимости запаса ели от густоты начинает вырисовываться в 14 лет, когда при густоте примерно около 20 тыс. шт./га отмечается наивысший запас. В 18 лет максимальный запас ели смещается на густоту примерно 6 тыс. шт./га. С увеличением возраста в процессе формирования насаждений реакция на густоту изменяется: чем больше первоначальная густота, тем раньше и при меньших абсолютных показателях слагающих ценоз деревьев наблюдается кульминация максимальной продуктивности [2].

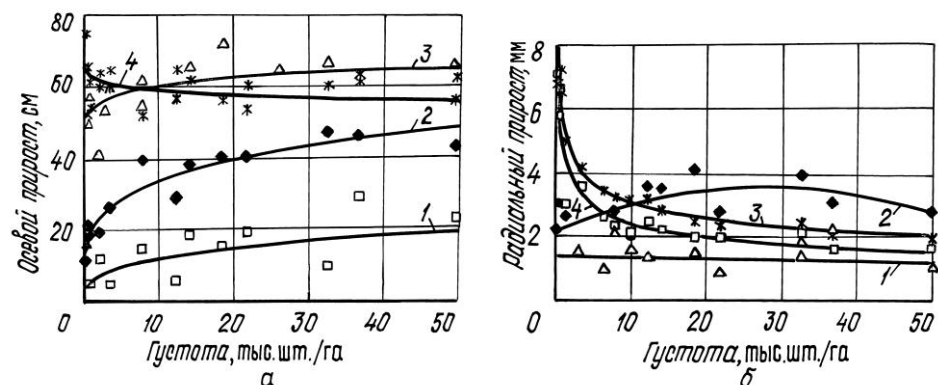


Рис. 4. Зависимость прироста в высоту (а) и по диаметру (б) от густоты сосновых ценозов разного возраста: 1 – 5; 2 – 8; 3 – 14; 4 – 17 лет

Оценка продуктивности естественных 34-летних сосняков на песчаных почвах в Восточной Сибири (юго-западное Приангарье) в диапазоне густот 18 ... 950 тыс. шт./га показала, что с увеличением плотности древостоев необратимо ослабевает взаимодействие между кронами и корневыми системами, вызывающее снижение жизнеспособности и в конечном счете элиминацию ослабленных деревьев [7].

Таким образом, оказалось, что все таксационные показатели 17-летних сосновых ценозов существенно зависят от их густоты. По мере ее увеличения изменяется структура ценозов, уменьшаются индивидуальные размеры деревьев, но возрастают запас древесины и абсолютная полнота.

Благодаря широкому диапазону густот ценозы находятся в различных состояниях взаимодействия и конкуренции деревьев друг с другом, по-разному используют ресурсы среды на продуцирование древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузыкин А.И. О географических и эдафоценотических факторах продуктивности лесов // Вопросы лесоведения. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1970. – Т. 1. – С. 80-91.
2. Кайрюкитис Л.А., Юодвалькис А.И. Явление смены внутривидовой конкуренции на взаимную толерантность индивидов в еловых фитоценозах // Со временные исследования продуктивности и рубок леса. – Каунас, 1976. – С. 47-64.
3. Макаренко А.А., Смирнов Н.Т. Формирование сосновых и сосново-березовых насаждений. – Алма-Ата, 1973. – 187 с.
4. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. – М.; Л., 1949. – 456 с.
5. Огиевский В.В. Лесные культуры Западной Сибири. – М.: Наука, 1966. – 187 с.
6. Основы лесной биогеоценологии /Под ред. В.Н.Сукачева и В.Н.Дылиса. – М.: Наука, 1964. – 574 с.
7. Пшеничникова Л.С. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты // Факторы продуктивности леса. – Новосибирск : Наука, 1978. – С. 36-52.
8. Сукачев В.Н. О внутривидовых и межвидовых взаимоотношениях среди растений // Сообщ. Ин-та леса АН СССР. – 1953. – Вып. 1. – С. 5-44.
9. Титов Ю.Ф. Эффект группы у растений. – М.: Наука, 1978. – 151 с.
10. Усольцев В.А. Расчленение эдафической и ценотической составляющих продуктивности древостоев по данным густотного эксперимента // Леса Урала и хозяйство в них: Сб. науч. тр. – Екатеринбург, 1994. – Вып. 17. – С. 77-85.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
Поступила 02.02. 99

L.S. Pshenichnikova

Pine Growth in the Experimental Planting of Different Density

The production process is analyzed for the 17 year-old pine cenoses of the artificial origin in the subzone of the southern taiga of the Krasnoyarsk Kraj. The considerable influence of the density on the current increment and main inventory indices of cenoses is revealed.

УДК 630* 432

Г.Б. Осадчий

Осадчий Геннадий Борисович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Сибирский автомобильно-дорожный институт, директор-главный конструктор КБАЭ «Во-Домет». Имеет 137 изобретений в области машиностроения.



УСТАНОВКА ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

Предложена новая установка для тушения лесных пожаров, работающая от их энергии и не загрязняющая среду. Предлагаемая технология обеспечивает ликвидацию пожара при отсутствии топлива.

расход топлива, водомет, газовый баллон, гидротурбина, гидроаккумулятор.

За последние 200 лет население планеты возросло в 6 раз, а энергопотребление на душу населения в 5 раз. Это привело к увеличению плотности населения и концентрации запасов горючих веществ, подлежащих переработке, хранению и использованию. Имеющаяся противопожарная техника в большинстве своем не приспособлена для тушения лесных пожаров, возникших по вине человека.

Если в промышленно развитых районах страны, на крупных предприятиях лесопереработки вопросы противопожарной безопасности все же решаются, то в лесном хозяйстве и на лесозаготовках они недооцениваются. В 1993–1998 гг. в лесах, находившихся в ведении Федеральной службы лесного хозяйства России, зарегистрировано более 70 тыс. пожаров, около 80 % которых возникает по вине человека, 20 % – от грозových разрядов. В густонаселенных районах места возгораний сравнительно доступны, но при значительном их количестве бывает невозможно имеющимися силами и средствами своевременно ликвидировать все очаги.

Львиная доля затрат (33 %) приходится на тушение. Это оплата привлеченных сил и средств пожаротушения, их обслуживание, расходы на использование авиации [4].

Значительная часть населения России проживает на территории, не присоединенной к электрическим сетям, в лесной зоне. Здесь порой нет топлива даже для выработки электроэнергии дизель-генераторами для бытовых целей. Во многих удаленных районах стоимость топлива на 75 ... 90 % определяется затратами на его перевозку (доставку). В результате стоимость электроэнергии оказывается в 10-20 раз выше, чем в промышленно развитых регионах, поэтому в таких местах порой вообще не запасают топлива

для противопожарной техники. Ведь даже у штатных пожарных, специализирующихся на тушении лесных пожаров, топлива катастрофически не хватает даже для обычных мотопомп.

Огромные расходы топлива при тушении лесных пожаров обуславливаются тем, что при высокой температуре пламени требуется полив водой, защита близлежащих участков от перегрева и возгорания. Отсутствие достаточного количества топлива приводит к выходу огня на «простор».

При тушении таких пожаров традиционными способами и средствами экологический ущерб, наносимый природе, складывается из загрязнения окружающей среды и использования кислорода как от самого пожара, так и от сжигания топлива противопожарной техникой; экономический ущерб определяется издержками самого пожара и количеством топлива, израсходованного на локализацию и тушение.

В целях уменьшения экологических и экономических потерь нами разработана альтернативная установка для локализации и тушения пожаров, работающая от энергии горячих газов и водяного пара, образующегося при тушении пожара, от энергии «тлеющих головешек».

Известна установка для тушения пожаров [3], однако она неудобна в работе, так как гравитационная тепловая труба, по которой подводится теплота из очага пожара, требует определенной ориентации в пространстве и ее длина не может быть быстро увеличена.

Наша установка для локализации и тушения пожара (рис. 1) состоит из водомета с системой самозенергообеспечения 1, газового баллона 2, предназначенного для запуска водомета в работу, шланга 3, прицепа 4. В комплект установки входят также воздуховод (парогазовод) и пожарный рукав (на рисунке не показаны). На прицепе 4 размещена цистерна с водой.

Устройство и принцип работы водомета (рис. 2) аналогичны известным, описанным в [2, 3]. Первый (первичный) запуск водомета 2 в работу осуществляется за счет сжигания газа в газовой форсунке 3. Водомет засасывает воду из цистерны, пожарного водоема, реки, озера, болота и под давлением вытесняет ее через гидротурбину (гидромотор) 6 в пожарный

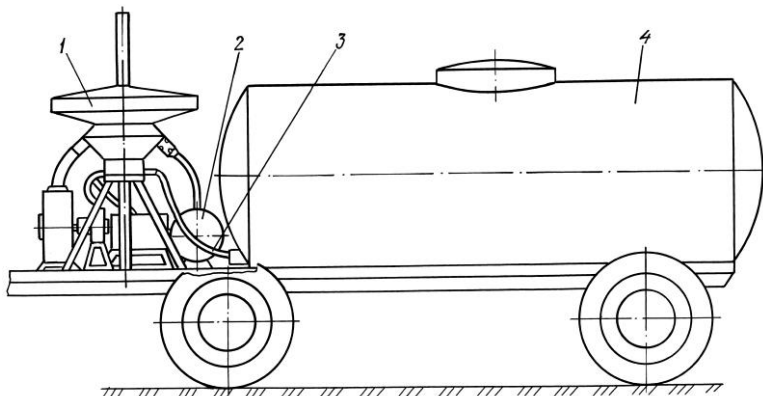


Рис. 1. Общий вид установки для локализации и тушения пожара

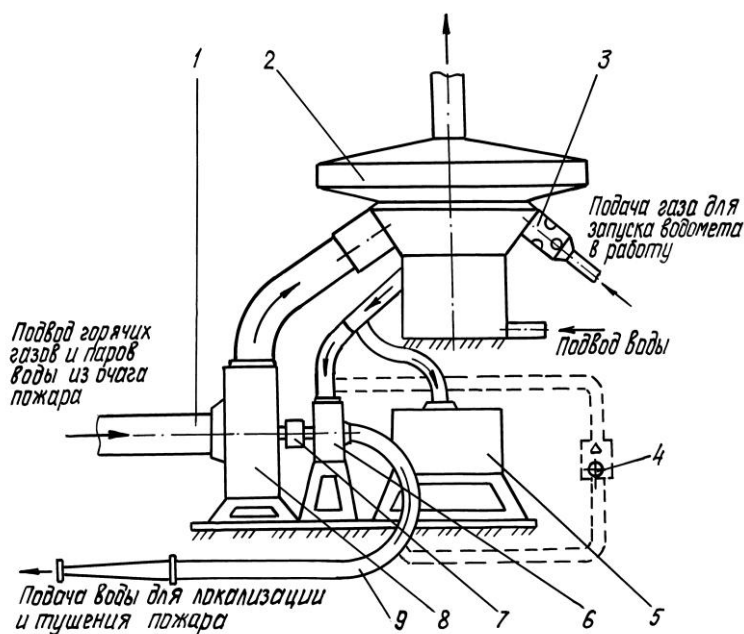


Рис. 2. Схема самоэнергоснабжения водомета

рукав 9 и далее по назначению. Гидротурбина через обгонную муфту 7 связана с вентилятором 8, который при вращении гидротурбины начинает вращаться за счет вытеснения через нее воды в пожарный рукав. Этим обеспечивается поступление по воздуховоду 1 горячих газов и паров воды из очага пожара к водомету, т. е. работа по локализации и тушению пожара до тех пор, пока не кончится вода или не будет потушен пожар.

Гидроаккумулятор 5, размещенный между водометом и гидротурбиной, обеспечивает непрерывность ее работы, сглаживание пульсации угловой скорости. Обгонная муфта отключает вентилятор от гидротурбины в тех случаях, когда частота ее вращения становится ниже частоты вращения вентилятора, т. е. повышает плавность работы последнего. Наличие муфты необходимо и в том случае, если водомет запускают вручную, без сжигания газа в газовой форсунке, за счет ручной, через миниредуктор, раскрутки вентилятора. При этом крайне необходимо самоотключение гидротурбины (схема ручного запуска условно не показана). Запуск водомета в работу возможен также за счет предварительно заряженного водой гидроаккумулятора. Вращение вентилятора при полной разрядке гидроаккумулятора или во время ручного запуска может осуществляться и без муфты за счет открытия обратного клапана 4 [1].

При малой мощности возгорания установка параллельно работает от газа, т. е. является установкой гарантированного пожаротушения с надежным резервированием. Она позволяет тушить пожары с минимальными энергозатратами, исключает нерациональное использование дорогостоящего

топлива, наличие которого в зоне пожара может к тому же стать причиной ее непредсказуемого расширения.

Огромные лесные массивы России, плохие дороги, рассредоточенность пожароопасных производств, пунктов заготовки, переработки и хранения древесины диктуют развитие сети альтернативного пожаротушения среднего звена, позволяющей до прибытия штатных пожарных или в их отсутствие самим работникам не только локализовать пожар, но и ликвидировать его с минимальными тепловой нагрузкой на биосферу, энергетическими и материальными затратами.

Предлагаемая установка позволяет бороться с причинами большинства лесных пожаров, безопасностью людей в местах их проживания и трудовой деятельности, а не с последствиями – быстро перемещающимися лесными пожарами. Поскольку установка работает от тепловой энергии с к. п. д. до 20 % [2], то она, имея небольшие габариты и массу, мобильна и универсальна.

Для запуска установки в работу и обслуживания не требуются квалифицированные специалисты – штатные пожарные. По сравнению с традиционными средствами и способами пожаротушения уменьшается экологический ущерб, наносимый природе, снижаются материальные затраты на ликвидацию возгораний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1490317 СССР, МКИ⁵ F 03 G 7/06. Тепловой двигатель / Г.Б. Осадчий, В.А. Слободянюк (СССР). – № 4131948/25-06; Заявлено 20.10.86; Опубл. 30.06.89, Бюл. № 24 // Открытия. Изобретения. – 1989. – № 24. – С. 159.

2. *Осадчий Г.Б.* Об актуальности разработки гелиоводомета с вакуумированными тепловыми ловушками // Техника в сельском хозяйстве. – 1998. – № 2. – С. 19-22.

3. *Холмская А.Г.* Водомет: вариант Осадчего // Изобретатель и рационализатор. – 1992. – № 2. – С. 6-7.

4. *Щетинский Е.Л.* Об оценке экономического ущерба от лесных пожаров // Лесн. хоз-во. – 1996. – № 3. – С. 9-10.

Конструкторское бюро альтернативной
энергетики «ВоДОмет», г. Омск

Поступила 01. 09. 98

G.B. Osadchy

Device for Fire Isolation and Extinction

A new device is suggested for forest fire extinction that uses the energy of fires and provides no harm to the environment. The technology suggested ensures the fire suppression without any fuel.

УДК 630*22

А. П. Рябоконт

Рябоконт Александр Петрович родился в 1949 г., окончил в 1970 г. Марийский политехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории лесоводства УкрНИИЛХА. Имеет около 110 печатных работ в области лесной таксации, лесоводства, лесных культур, экологического лесоведения, квалитметрии древесного сырья.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ДРЕВОСТОЕВ**

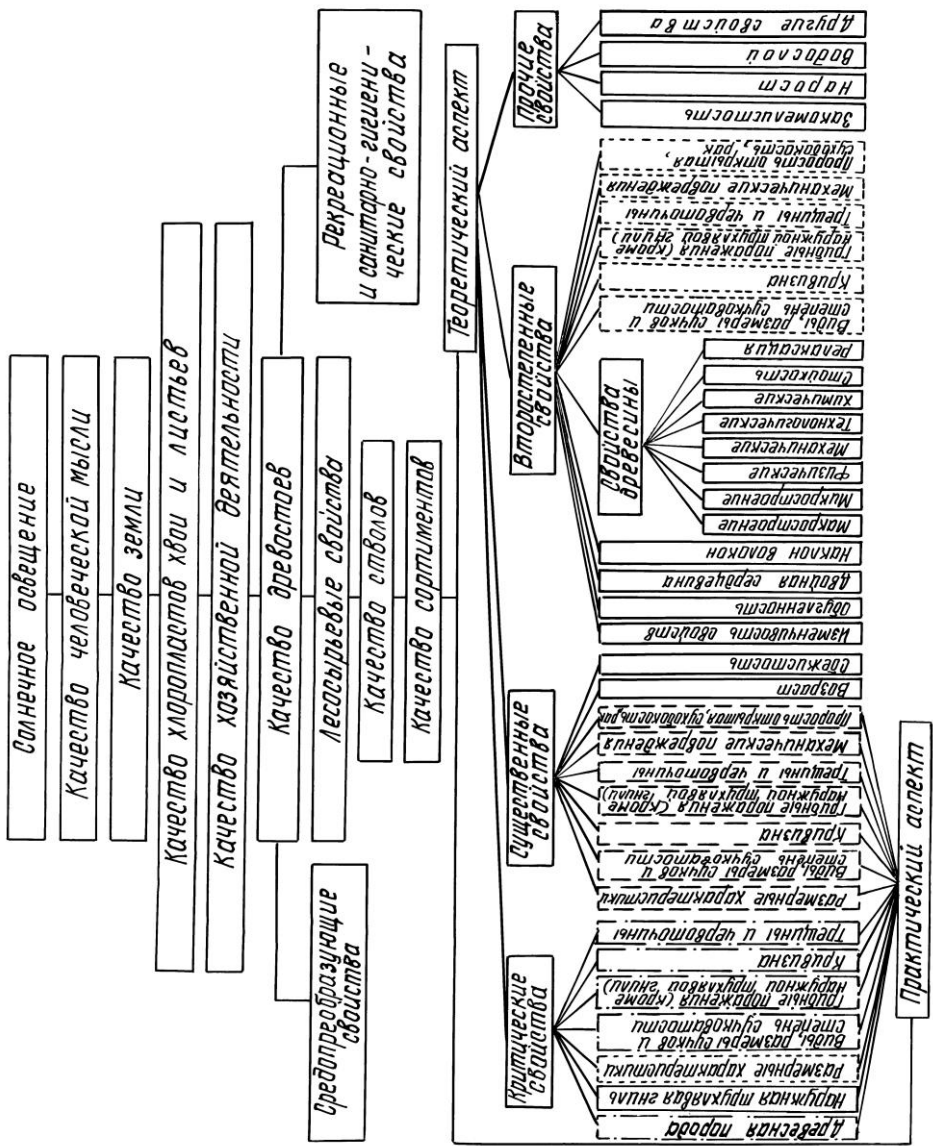
Предложена классификационная система свойств, образующих качество древостоя. На примере сосны обыкновенной показаны пути их гармонизации в процессе лесовыращивания. Описано управление качеством древостоя в течение всего цикла его воспроизводства на базе комплекса мероприятий.

древостой, продукция, свойства, качество, управление качеством.

Древесина в отличие от полезных ископаемых – возобновляемый ресурс. Лес – наиболее мощная в мире растительная ассоциация. Он связывает в органической массе такое количество солнечной энергии, которое вырабатывалось бы электростанциями, размещенными на суше через 4 км, каждая мощностью Красноярской ГЭС. По сути лесоводы обладают своеобразным «вечным двигателем» (см. рисунок) со следующим «рабочим циклом»: солнечное освещение → качество человеческой мысли → качество земли → качество хлоропластов хвои и листьев → качество хозяйственной деятельности. От этого «вечного двигателя», работающего за счет солнечной энергии и человеческой мысли, зависит формирование и управление качеством древостоев.

Основную продукцию лесохозяйственной отрасли разные авторы определяют как: а) совокупность стволов в пределах среднепериодического текущего прироста [21]; б) древесину от рубок главного, дополнительного и промежуточного пользования, отпущенную другим отраслям народного хозяйства как на корню, так и в заготовленном виде [23]; в) выращенные, сохраненные и отведенные в рубку древостои в объеме расчетной лесосеки [24]. Из приведенных определений первое и третье несут одинаковую смысловую нагрузку, подводят итоги лесохозяйственной деятельности, учитывают принцип непрерывного неистощительного (неразрушающего) лесопользования и дают возможность определить спелые древостои в пределах расчетной лесосеки как основную продукцию лесного хозяйства.

В соответствии со стандартом ИСО 8402 [5] качество – это совокупность свойств и характеристик продукции, которые придают ей способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности. Качество основной лесохозяйственной продукции – спелых древостоев (см. рисунок)–



Классификационная система свойств качества древесины при выращивании пиловочной древесины: ——— ненормированные; - - - - - выше норм; менее норм; - - - - - в пределах установленных норм

определяется как совокупность лесосырьевых, средообразующих, рекреационных и санитарно-гигиенических свойств. Эти свойства часто противопоставляют, но, как правило, высокопродуктивные древостои обладают относительно более высоким уровнем невесомых полезностей леса. Последние не выражаются количественными показателями, и нет смысла их противопоставлять. Защитные и рекреационные свойства используются в процессе лесовыращивания, а лесосырьевые – при главном пользовании (лишь частично на лесохозяйственном этапе). Качество древостоев в значительной мере является производным показателем их продуктивности.

Собственно древесные стволы следует рассматривать как полуфабрикат, сырье, из которого заготавливается древесина различного назначения, т. е. продукция лесозаготовительной промышленности. На рисунке приведена структура качества древостоев, выращиваемых в целях получения пиловочника. Качество стволов характеризуется качеством изготавливаемых из них сортиментов.

Из всей совокупности свойств, определяющих качество древостоя, могут быть выделены свойства теоретического плана, учитывающие цель использования древесины [6]. Практически используется значительно меньшее количество свойств, но нормированных действующим стандартом. Требования стандартов не постоянные, они могут меняться в зависимости от лесосырьевой базы и условий лесопользования. При этом теория рассматривается как своеобразный резерв информации для практического аспекта, который должен пополняться или уточняться по мере смены требований [6].

Значимость свойств в формировании продукции неодинакова. Различают [4] критические, существенные, второстепенные и другие свойства. В группу критических входят такие свойства, присутствие которых (наружная трухлявая гниль) или отклонение от установленных значений (древесная порода; размерные характеристики; определенные виды сучков, их размеры и степень распространения; грибные поражения, за исключением наружной трухлявой гнили; кривизна; трещины и червоточины) исключают возможность использования ее по назначению.

В существенные включены свойства, наличие которых (возраст, сбежистость), а также отклонение от установленных норм (размерные характеристики; виды и размеры сучков, степень их распространения; кривизна; грибковые поражения, кроме наружной трухлявой гнили; трещины и червоточины, механические повреждения, прорость открытая, сухобокость, рак) ведут к значительному влиянию на пригодность продукции при ее использовании по назначению, т. е. снижению или повышению сортности.

К второстепенным отнесены свойства, влияние которых на формирование качества продукции невелико (изменчивость свойств; обугленность; двойная сердцевина; наклон волокон, микро- и макростроение древесины, ее релаксация), а также развитые менее установленные нормы (виды,

размеры сучков и степень сучковатости; кривизна; грибковые поражения, кроме наружной трухлявой гнили; трещины и червоточины, механические повреждения, прорость открытая, сухобокость, рак). Изменчивость свойств резко возрастает при механизированной заготовке и переработке древесины [11]. Важными при конкретном использовании древесины и в значительной мере определяющими сферу ее применения являются физико-механические свойства. Но в действующем стандарте [3] они не нормированы, так как не определяют сортности продукции. Именно физико-механические свойства указывают на существующий в настоящее время разрыв между требованиями стандартов и качеством используемой древесины.

В число других входят такие свойства, которые не влияют значительно на качество рассматриваемой продукции (закомелистость, нарост, водослой и т. д.).

Приведенные на схеме свойства находятся во взаимном противоречии. Улучшение при помощи определенных лесохозяйственных мероприятий одних свойств может приводить к ухудшению других, и наоборот. Например, интенсивные рубки ухода увеличивают размерные характеристики стволов, но снижают физико-механические свойства древесины. Необходимо искать способы лесовыращивания, обеспечивающие гармоничное развитие лесосырьевых свойств, достижение их структуры, оптимальной с точки зрения потребителя древесины.

Смена цели лесовыращивания вызывает изменение группы в классификации свойств. При выращивании балансов критическим свойством выступает обугленность, а существенным – плотность древесины, от которой зависит выход целлюлозы. Плотность не нормирована в действующем стандарте, но, как показывают расчеты [10], целлюлозному комбинату с годовым выпуском целлюлозы 100 тыс. т при снижении средней плотности перерабатываемой древесной массы всего на 5 % для сохранения установленного объема производства необходимо дополнительно увеличить поставку балансов на 26 тыс. м³ в год.

Для рудстойки критическим свойством выступают зарубы и запилы, трещины, а к существенным добавляется прочность древесины при сжатии вдоль волокон как важный показатель, который «работает» в конкретных условиях шахты.

Наиболее объективной оценкой качества древостоев является выход 1 м³ лесопродукции [12]. Однако на практике, особенно в процессе выращивания, такая оценка сопряжена со значительными техническими трудностями. Поэтому для определения качества древостоев применяют методы квалиметрии (количественной оценки качества продукции). Для объединения разнокачественных показателей, приведенных на рисунке, используют ранее разработанные О.И. Полубояриновым [12] комплексные показатели, рассчитанные на основании относительных показателей качества древостоев и параметров их весомости. Примеры практического использования комплексных показателей качества приведены в работах [13, 17].

В зависимости от поставленных задач (продажа на аукционе, экспертная оценка, научные цели и т. д.) качество древостоев может устанавливаться визуально, на уровне требований действующего национального или международного стандартов, совокупности свойств теоретического плана. Древостои, которые реализуются на корню, могут подвергаться сертификации, т. е. устанавливается степень их соответствия требованиям внутреннего и внешнего рынков.

Целевое управление качеством древостоев обеспечит гарантированную конкурентную устойчивость лесохозяйственного предприятия в условиях рынка и должно охватывать весь цикл воспроизводства древесного сырья: главное пользование → лесокультурный этап → лесохозяйственный этап → главное пользование.

Лучших показателей качества сосновая древесина достигает в 80 ... 100 лет, и заготавливать ее необходимо преимущественно в этом возрасте [1]. При строгом соблюдении технических условий разработки лесосеки главного пользования и тщательной уборке порубочных остатков формируется качество будущей лесокультурной площади. Важным моментом являются недопущение разрыва во времени между главной рубкой древостоя и облесением лесокультурной площади, максимальное использование остаточных свойств лесной среды срубленного насаждения на стадии индивидуального роста растений.

На лесокультурном этапе от выбора технологии, качества посадочного материала и посадки, агротехнических уходов зависит, сформируется ли будущий древостой. Чрезмерная густота (> 10 тыс. шт./га) или слишком редкая посадка (< 4 тыс. шт./га) приводят к заметному снижению прочности древесины [20].

С помощью рубок ухода и при относительно редкой посадке увеличиваются размеры стволов [14], но одновременно повышается сучковатость и ухудшается качество древесины [18]. В сравнении с древесиной ствола [2, 8] у сучьев процент поздней древесины выше на 125, плотность – на 104, предел прочности при сжатии вдоль волокон – на 24 %. Усилия резания сучковой древесины в 4 раза больше, чем бессучковой. Сучки нарушают однородность древесины ствола и часто ухудшают ее свойства. Своевременное удаление сучьев в процессе выращивания в целом повышает механические показатели воспроизводимой древесины. При отводе деревьев в рубку (при прочих равных условиях) необходимо учитывать максимальные прочностные свойства древесины сосны, характерные для деревьев II класса роста по Г. Крафту [9].

Ранее была установлена закономерность формирования насаждений: густые смолоду насаждения к возрасту рубки превращаются в редины и наоборот, редкие в молодом возрасте формируются в высокополнотные и продуктивные древостои [15]. Поэтому необходимо отказаться от традиционной вырубki отстающих в росте деревьев «вслед за природой».

Жесткая конкуренция между деревьями вызывает деформацию их ассимиляционного аппарата, что не компенсируется такими рубками ухода. Удаление деревьев при проходных рубках не способствует полному восстановлению и существенному увеличению запаса древостоя к главной рубке. Наличие надежной, проверенной на практике целевой программы лесовыращивания должно обеспечивать оптимальную структуру насаждений. При этом период рубок ухода смещается на первую половину жизни насаждения (осветления, прочистки, прореживания) для формирования у деревьев будущего (еще не потерявших своей пластичности) хорошего ассимиляционного аппарата. С его помощью на стадии минимизированных проходных рубок ухода «наращивается» максимально возможный запас качества стволов, и в главную рубку поступают высокополнотные древостои. При осветлениях и прочистках проводится уход за насаждениями путем вырубki целых рядов, а начиная с прореживаний – индивидуальный отбор каждого экземпляра в рубку или для доращивания [19].

Существенное ухудшение физико-механических свойств древесины в относительно редких древостоях при возрастающей интенсификации лесовыращивания требует более тщательного учета ее показателей при конкретном использовании за пределами процесса лесовыращивания. В ряде лесодефицитных стран используют специальные машины для сортировки пиломатериалов по прочности [22], а также улучшают свойства древесины техническими средствами [7].

Повышение качественного уровня лесов возможно в результате реализации совершенных технологий [18], снижающих затраты на лесовыращивание. Сочетание четырех лесохозяйственных мероприятий (рациональная схема посадки, биологическая мелиорация, оптимизированная система рубок ухода и обрезка сучьев на стволах деревьев будущего) позволяет повысить устойчивость насаждений к экзогенным факторам и снизить трудозатраты. Учет качественных и количественных показателей древостоев дал возможность впервые обосновать целевые программы ускоренного воспроизводства (50 лет) пиловочника, балансов, рудстойки [13, 16–19].

Анализ средних показателей главного пользования (табл. 1) позволяет выявить влияние географического фактора. Сосновые древостои Балаклейского гослесхоза (Южная лесостепь) имеют заметно меньшие запасы древесины, чем в Лебединском и Тростянецком гослесхозах (Центральная левобережная лесостепь) – до 17 %, средний прирост древесины от 8 до 38 %. Этот факт свидетельствует: разработанные целевые программы интенсивных технологий выращивания сосны в Балаклейском гослесхозе [19] при внедрении в производство в более северных районах дадут соответствующую прибавку к урожаю за счет географического фактора.

Таблица 1

Характеристика главного пользования в сосновых насаждениях

ПО	Гослесхоз	Число лесосек в выборке	Средняя площадь участков, га	Возраст древостоев, лет	Густота сосны, шт./га	Диаметр, см	Запас древесины, м ³ /га	Средний объем ствола, м ³	Средний прирост, м ³ /га	Запас других древесных пород, м ³ /га
Харьковлес	Балаклеяский	41	2,9	95	320	28,1	224,8	0,8	2,4	-
		28	2,7	111	282	30,4	234,4	0,9	2,1	-
Сумылес	Лебединский	38	3,0	90	365	29,4	264,0	0,8	2,9	17,2
	Тростянецкий	36	2,9	97	263	33,3	262,5	1,0	2,6	41,6

При сертификации древостоев параметры качественных и количественных показателей определяются через густоту древостоя, бесчучковую зону стволов, средние диаметр и высоту; абсолютную и относительные полноты; запас древесины (м³/га), в том числе процент крупной, средней, мелкой; возраст количественной и технической спелости (лет); качество древесины: число годичных слоев в 1 см (шт.), процент поздней древесины, плотность (кг/м³), предел прочности (МПа) при сжатии вдоль волокон, статическом изгибе в тангентальном и радиальном направлениях; усушку радиальную, тангентальную и объемную (%) и др. При мер сертификации сосновых древостоев приведен в табл. 2.

Для режима свободного стояния густота древостоев составила 210, быстрого прироста 426 ... 432, умеренного 642 ... 654, коренного 1032 ... 1044, контроля 1416 ... 1704 шт./га. Полученные данные дают возможность лесохозяйственной отрасли реализовать древостой по максимальной потребительской стоимости, а потребителю оплачивать не дефицит древесины, а ее качество и количество.

Управление качеством древостоев в заданном направлении по- зволяет в максимальной степени использовать экологический потенциал каждого лесорастительного участка через полную реализацию биологических особенностей выращиваемой древесной породы и смягчить по- стоянно возрастающий дефицит в древесине.

Таблица 2

Качество 50-летних древостоев сосны с различной структурной организацией в Балаклейском гослесхозе (ПО Харьковлес)

Густота, шт./га	Бессуч- ковая зона, м	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Запас древесины, м ³ /га				Техническая спелость, лет, при выращивании			Качество древесины (при влажности 12 %)					
				всего	круп- ной	сред- ней	мел- кой	пиловочника		балансов (руд- стойки)	Число годич- ных слоев, в 1 см, шт.	Процент поздней древесины	Плот- ность, кг/м ³	Предел прочности, МПа, при		
								крупного	крупного+ среднего					сжатии вдоль волокон	статическом из- гибе	
															радиаль- ном	танген- тальном
210	2,4	36,5	22,8	243,4	129,0	74,8	0,2	>50	50	<50	3,0	32,1	460	32,8	34,4	36,2
210*	6,1	35,9	22,6	232,9	113,2	81,8	0,2									
426	2,2	29,3	22,1	302,9	65,2	180,7	8,5	>50	50	<50	3,6	32,6	489	38,8	40,2**	44,8**
432*	5,4	29,1	22,4	303,9	61,2	185,6	8,7									
654	4,1	25,1	20,5	326,5	17,8	232,4	25,6	>50	>50	50	5,1	41,2	504	40,3	54,4	57,9
642*	5,6	24,7	20,3	308,2	13,3	220,1	26,9									
1032	5,6	20,7	21,6	330,6	2,0	188,1	85,6	>50	>50	>50				Нет данных		
1044*	5,3	20,7	21,2	332,5	-	192,1	85,1									
1416	5,2	17,6	19,7	316,4	-	120,7	141,5	>50	>50	>50	6,6	39,2	496	42,5	65,2	68,1
1704	5,8	16,9	20,0	334,2	-	109,8	161,8									

* Показатели для секций с обрезкой сучьев на стволах.

** Ориентировочные показатели.

Ориентация в процессе выращивания на высокое качество древесное обеспечит долгосрочное повышение доходности лесохозяйственной отрасли в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быков М.К.* Физико-механические свойства древесины сосны обыкновенной разных классов возраста // Сб. по обмену опытом в лесозаготовительной, мебельной и деревообрабатывающей промышленности за 1954 год. – Киев: Изд-во Академии архитектуры УССР, 1955. – № 3-4. – С. 54-64.
2. *Бураков Н.Н.* Влияние сучков на механические свойства древесины сосны и ели // Тр. Центр. аэрогидродинамич. ин-та. – М.: Гослестехиздат, 1930. – Вып. 60. – 64 с.
3. ГОСТ 9463–88; ГОСТ 9462–88; ГОСТ 2292–88. Лесоматериалы круглые. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 39 с.
4. *Дмитриев В.Д., Полянский В.Е.* Управление качеством продукции // Лесн. хоз-во. – 1974. – № 4. – С. 17-20.
5. ИСО 9000-ИСО 9004, ИСО 8402. Управление качеством продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 96 с.
6. *Кислый В.В.* Оценка качества продукции лесной и деревообрабатывающей промышленности. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 224 с.
7. *Кузнецов В.* Радиация и древесина // Лесн. пром-сть. – 1988. – 29 дек. – С. 3.
8. *Левченко В.П.* Физико-механические свойства древесины сучков // Лесн. журн. – 1969. – № 1. – С. 93-96. – (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Перельгин Л.М.* Древесиноведение. – М.: Сов. наука, 1957. – 364 с.
10. *Полубояринов О.И.* Плотность древесины. – Л.: ЛТА, 1973. – 77 с.
11. *Полубояринов О.И.* Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины. – Л.: ЛТА, 1974. – 96 с.
12. *Полубояринов О.И.* Оценка качества древесины насаждений на основе комплексного показателя // Лесн. хоз-во, лесн., деревообраб. и цел.-бум. пром-сть. – Л.: ЛТА, 1976. – Вып. 4. – С. 39-41.
13. *Рябокоть А.П.* О качестве стволов в древостоях различной густоты // Лесн. хоз-во. – 1978. – № 5. – С. 33-36.
14. *Рябокоть А.П.* Влияние густоты древостоев на морфометрические показатели качества стволов // Лесоводство и агролесомелиорация. – Киев: Урожай, 1978. – Вып. 51. – С. 10-14.
15. *Рябокоть А.П.* Определение биологического оптимума густоты сосновых древостоев в условиях свежей субори // Лесоведение. – 1979. – № 3. – С. 16-23.
16. *Рябокоть А.П.* Режимы густоты сосновых древостоев при ускоренном выращивании пиловочной и балансовой древесины // Новое в науке и технике лесн. хоз-ва. – 1980. – № 14. – С. 7-8.
17. *Рябокоть А.П.* Продуктивность сосновых насаждений и качество древесины в них при ускоренном выращивании на пиловочник и балансы // Лесн. журн. – 1990. – № 6. – С. 19-24. – (Изв. высш. учеб. заведений).
18. *Рябокоть А.П.* Ускоренное выращивание сосны с заданными свойствами древесины для производства пиловочника и балансов // Лесоэксплуатация и лесосплав: Экспресс-информ. / ВНИПИЭЛеспром. – 1991. – Вып. 13. – 36 с.

19. *Рябокоть О.П.* Цільові програми інтенсивних технологій вирощування сосни (Настановлення). – Харків: УкрНДІЛГА, 1995. – 44 с.
20. *Степанов Р.С.* Влияние густоты посадки на физико-механические свойства древесины // Биология и растениеводство: Докл. ТСХА – М.: ТСХА, 1961. – С. 239-245.
21. *Судачков Е.Я.* Эффективность лесохозяйственных мероприятий. – Новосибирск: Наука, 1976. – 250 с.
22. *Уголев Б.Н.* Древесиноведение с основами лесного товароведения. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 384 с.
23. *Цымек А.А.* Продукция лесного хозяйства // Лесн. хоз-во. – 1976. – № 1. – С. 43-46.
24. *Шутов И.В.* В плену административного романтизма // Лесн. хоз-во. – 1994. – № 4. – С. 36-39.

УкрНИИЛХА

Поступила 09.06.98

A.P. Ryabokon

Investigating the Stands Quality

Classification system of attributes is proposed characterizing the stand quality. Taking *Pinus sylvestris* as an example the ways of their harmonization in the process of forest growing are demonstrated. Stand quality management is described for its complete reproduction cycle based on the complex measures.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630* 377.44

В.И. Кучерявый, В.Д. Чарков, С.Н. Мильков

Кучерявый Василий Иванович родился в 1953 г., окончил в 1977 г. Ленинградскую лесотехническую академию, в 1991 г. Ленинградский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры сопротивления материалов и прикладной механики Ухтинского государственного технического университета. Имеет более 100 печатных работ в области разработки новых методов расчета прочности и прогнозирования надежности лесозаготовительных машин (ЛЗМ), вероятностного проектирования и статистической динамики конструкций ЛЗМ, моделирования на ПЭВМ ресурса деталей и прогнозирования их потребности.



Чарков Владимир Дмитриевич родился в 1939 г., окончил в 1964 г. Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики Ухтинского государственного технического университета. Имеет более 40 научных трудов по численным методам расчета прочности конструкций.



Мильков Сергей Николаевич родился в 1955 г., окончил в 1977 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Учебно-консультационного пункта Российского государственного открытого технического университета путей сообщения (г. Ухта). Имеет 11 печатных работ в области численного моделирования процессов горения.



ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СУЧКОРЕЗНЫХ МАШИН

Использована детерминированная формула усилия срезания сучьев. Методом преобразования функции случайного аргумента найдена плотность распределения усилия срезания сучьев отдельных пород деревьев и обобщенная для совокупности породного состава. С помощью гистограмм вычислены вероятности типичных нагрузочных режимов для разных районов лесозаготовок. Полученные данные позволяют прогнозировать прочность, ресурс и требуемое число запасных частей.

сучкорезные машины, нагрузочные режимы, срезание сучьев, вычислительная программа.

В настоящее время на лесозаготовительных предприятиях Архангельской области, Республики Коми и других областей Европейско-Уральской зоны широко применяют сучкорезные машины ЛП-30Б. Основными факторами, влияющими на эксплуатационные нагрузочные режимы работы сучкорезных машин, являются такие параметры обрабатываемых деревьев, как диаметр их в комле, длина бессучковой зоны, число сучьев и их средний диаметр. Определяющий из них – усилие срезания сучьев обрабатываемых деревьев, которое необходимо знать для выбора оптимальных конструктивных параметров при модификации сучкорезных машин, оценки прочности, ресурса и уточнения требуемого числа запасных частей применительно к конкретным условиям лесозаготовки.

В качестве исходной зависимости для расчета нагрузочных режимов применим детерминированную формулу определения усилия срезания сучьев, в которой диаметр сучка отдельной породы дерева представим величиной случайной \tilde{d} [2]:

$$\tilde{P} = f(\tilde{d}) = m\tilde{d}^2, \quad (1)$$

где $m = 31,5 \cdot 10^{-4} a_n a_\delta$; a_n – поправочный коэффициент, учитывающий породу (для ели – 1,3, для сосны – 1,0, для березы – 1,8, для осины – 1,5); a_δ – поправочный коэффициент, учитывающий угол резания (примем $a_\delta = 1,0$).

В формуле (1) значение P имеет размерность кН, а d – мм.

Из уравнения (1) следует, что величина \tilde{P} является нелинейной функцией одного случайного аргумента \tilde{d} . Допускаем, что известна плотность распределения диаметра сучка $g(d)$. Найдем плотность вероятности усилия срезания сучьев $h_i(P)$ по (1). Для этого применим формулу теории вероятностей

$$h_i(P) = |dk/dP| g[k(P)]. \quad (2)$$

В уравнении (2) величина $k(P)$ является обратной функцией к f в уравнении (1). Таким образом, имеем

$$k(P) = f^{-1}(P) = \pm \sqrt{P/m_i}. \quad (3)$$

Выражение $|dk/dP|$ в уравнении (2) обозначает модуль производной обратной функции P . Поскольку обратная функция (3) является двузначной, то получаем два значения для d . Следовательно,

$$h_i(P) = |dd_1/dP| g(d_1) + |dd_2/dP| g(d_2). \quad (4)$$

Дифференцируя обратную функцию (3) по P , получаем

$$|d'_p| = (2\sqrt{m_i P})^{-1}. \quad (5)$$

Подставим (5) в (4), тогда

$$h_i(P) = \begin{cases} (2\sqrt{P/m_i})^{-1} [g(\sqrt{P/m_i}) + g(-\sqrt{P/m_i})], & P \geq 0 \\ 0, & P < 0 \end{cases}. \quad (6)$$

Допустим, что диаметр сучка d i -й породы дерева имеет плотность нормального распределения

$$g(d) = (S_i 2\sqrt{\pi})^{-1} \exp[-(d - \bar{d}_i)^2/2 S_i^2], \quad (7)$$

где \bar{d}_i – математическое ожидание диаметра сучка i -й породы дерева;

S_i – стандартное отклонение.

Подставим (7) в (6). После преобразований получим плотность распределения усилия срезания сучьев $h_i(P)$ для i -й породы дерева в развернутом виде:

$$h_i(P) = (\sqrt{8\pi m_i P} S_i)^{-1} \{ \exp[-(\sqrt{P/m_i} - \bar{d}_i)^2/2 S_i^2] + \exp[-(-\sqrt{P/m_i} - \bar{d}_i)^2/2 S_i^2] \}. \quad (8)$$

В конкретных условиях эксплуатации имеет место смешанный характер лесонасаждений, поэтому для определения обобщенной плотности усилия срезания сучьев $h(P)$ применим формулу статистической смеси:

$$h(P) = \sum_{i=1}^n \alpha_i h_i(P), \quad (9)$$

где $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ – удельные веса пород деревьев в данном лесонасаждении, n – число пород деревьев.

Имеем в виду, что $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \alpha_i \geq 0$.

Справедливость применения формулы (9) объясняется тем, что события обрезки сучьев машиной ЛП-30Б являются несовместными. Подставляя (8) в (9), получаем формулу смеси плотностей в развернутом виде:

$$h(P) = \sum_{i=1}^n \alpha_i (\sqrt{8\pi m_i P} S_i)^{-1} \{ \exp[-(\sqrt{P/m_i} - \bar{d}_i)^2/2 S_i^2] + \exp[-(-\sqrt{P/m_i} - \bar{d}_i)^2/2 S_i^2] \}. \quad (10)$$

Таблица 1

Район лесозаготовок	α_1	α_2	α_3	α_4	Вероятности (удельные веса) типичных режимов		
					Легкий θ_1	Средний θ_2	Тяжелый θ_3
Архангельская область	0,64	0,26	0,09	0,01	0,2594	0,5948	0,1458
Вологодская »	0,63	0,15	0,12	0,10	0,2519	0,5938	0,1543
Мурманская »	0,40	0,50	0,10	0	0,1927	0,5669	0,2404
Ленинградская »	0,30	0,29	0,30	0,11	0,1695	0,5413	0,2892
Леспромхозы Респуб- лики Коми:							
Троицко-Печорский	0,40	0,40	0,20	0	0,2006	0,5556	0,2439
Ясногский	0,50	0,10	0,30	0,10	0,2260	0,5612	0,2128
Сыктывдинский	0,60	0,10	0,20	0,10	0,2430	0,5823	0,1747
Боровской	0,80	0	0,20	0	0,3007	0,5951	0,1042
Подчерский	0,70	0	0,30	0	0,2733	0,5745	0,1523
Сысольский	0,40	0,10	0,30	0,20	0,1941	0,5579	0,2480

В уравнении (10) значения $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ выбираем из формулы породного состава. Например, для Ясногского леспромхоза (Республика Коми) при формуле 50Е10С30Б10Ос принимаем для ели $\alpha_1 = 0,50$, сосны $\alpha_2 = 0,10$, березы $\alpha_3 = 0,30$, осины $\alpha_4 = 0,10$. Для различных районов лесозаготовок значения α_i ($i = 1, \dots, 4$) приведены в табл. 1.

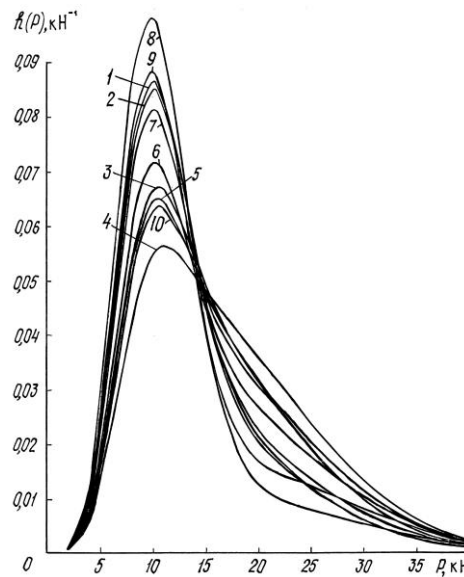
В уравнении (10) коэффициент m имеет следующее значение: для ели $m_1 = 40,95 \cdot 10^{-4}$, сосны $m_2 = 31,5 \cdot 10^{-4}$, березы $m_3 = 56,7 \cdot 10^{-4}$, осины $m_4 = 47,25 \cdot 10^{-4}$. Данные о рассеивании диаметров сучьев по породам приведены в табл. 2 [1]. По значениям d_{\min} и d_{\max} найдены параметры распределения \bar{d} и S по правилу математической статистики «трех стандартов», т. е. $\bar{d} = (d_{\min} + d_{\max})/2$, $S = (d_{\max} - d_{\min})/6$. Эти значения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Порода	Размер сучьев, мм		Параметры распределения, мм	
	d_{\min}	d_{\max}	\bar{d}	S
Сосна	30	120	75,0	15,0
Ель	25	75	50,0	8,3
Береза	25	100	62,5	12,5
Осина	30	90	60,0	10,0

Для значений α_i , m_i , \bar{d}_i , S_i ($i = 1, \dots, 4$) по уравнению (10) с помощью вычислительной программы построены обобщенные кривые распределения $h(P)$ при изменении усилия P от 2 до 40 кН и величине разряда $\Delta P = 2$ кН (см. рисунок). Затем кривые распределения превращены в гистограммы умножением плотности $h_j(P)$ на величину разряда ΔP_j . На них выделяем четыре типичных режима работы (блоки нагрузок) со следующими диапазонами изменения усилия: легкий от 2 до 10, средний от 10 до 20, тяжелый от 20 до 30 и весьма тяжелый от 30 до 40 кН. Суммируя вероятности разрядных значений по каждому из выделенных режимов, определяем их вероятности (удельные веса) r_i ($i = I, \dots, IV$).

В последующих расчетах принимаем три типичных нагрузочных режима: легкий, средний и тяже-



Обобщенные кривые распределения усилия срезания сучьев: 1 – 4 – соответственно Архангельская, Вологодская, Мурманская, Ленинградская области; 5 – 10 – Троицко-Печорский, Ясногский, Сыктывдинский, Боровской, Подчерский, Сысольский леспромхозы Республики Коми

лый в связи с ограничением усилия протаскивания дерева машиной ЛП-30Б до 30 кН. Для этого выполняем пересчет вероятностей выделенных режимов по соотношениям:

$$\theta_1 = r_I/(1 - r_{IV}); \theta_2 = r_{II}/(1 - r_{IV}); \theta_3 = r_{III}/(1 - r_{IV}). \quad (11)$$

Значения θ_1 , θ_2 , θ_3 в (11), полученные по изложенному алгоритму, приведены в табл. 1 для различных районов лесозаготовок. Величины θ_1 , θ_2 , θ_3 вносят различие в интенсивность накопления повреждений, а соответственно и ресурс деталей технологического оборудования ЛП-30Б. На основании выполненных расчетных исследований разработаны дифференцированные, по местным условиям эксплуатации, нормы расхода запасных частей для машин ЛП-30Б.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дитрих В.И., Нестерова И.Б.* Определение усилия срезания сучьев // Лесн. пром-сть. – 1976. – № 2. – С. 28-29.
2. *Залегаллер Б.Г., Ласточкин П.В.* Механизация и автоматизация работ на лесных складах. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 232 с.

Ухтинский государственный технический университет

Поступила 15.04. 97

V.I. Kucheryavy, V.D.Charkov, S.N.Milkov

Probabilistic Calculation of Load Running Modes of Delimiters

The deterministic effort formula of delimiting is used. The density of distribution of delimiting effort for independent tree species is found as well as generalized density for the species community by the method of transformation of random argument. With the help of histograms the probabilities of typical load modes are calculated for different harvesting regions. The data obtained allow forecasting the strength, resource and the required number of spare parts.

УДК 625

В.П. Стуков

Стуков Валерий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, почетный дорожник РФ. Имеет около 70 печатных трудов в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.



ДОРОГИ И МОСТЫ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ: ИХ НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Исследованы состояние, соответствие требованиям времени, возможные направления развития транспортной сети автодорог и мостов региона. Отмечена целесообразность применения в мостостроении современных конструкционных материалов – клееной древесины отдельно или в сочетании с железобетоном.

транспортная сеть, мосты, программа развития транспортной сети, клееная древесина.

Состояние транспортной сети государства, ее соответствие требованиям настоящего и наличие резервов на ближайшее будущее неразрывно связаны с развитием производства и общества. Ведущие индустриальные державы имеют хорошо развитую транспортную сеть, и миграция промышленных зон, мест добычи полезных ископаемых и минерального сырья, источников электроэнергии и т. п. не вызывают спадов в экономике и напряженности в обществе.

Россия входит в XXI в. с недостаточно развитой сетью автомобильных дорог, что в течение длительного времени будет являться серьезной причиной замедления темпов экономического подъема.

Для сравнения отметим, что на 100 км² территории РФ и США приходится соответственно 3,15 и 53 км автодорог.

По данным Дорожного департамента РФ, на 0,53 млн км автодорог имеется 38 675 мостов, в США на 5 млн км дорог – 575 000 мостов или соответственно 0,23 и 6,1 моста на 100 км² территории [8, 13].

В настоящее время после длительного спада наблюдается стабилизация, а в отдельных случаях и тенденции к развитию отечественной экономики. Архангельской области с ее богатейшими природными ресурсами – лес, нефть, газ, алмазы, бокситы, никель, марганец, титан, золото и др. – отводится одно из ведущих мест в развитии экономики России. Осо-

бую привлекательность представляет относительная близость к центрам традиционной промышленности и регионам-потребителям как России, так и Европы.

Цель настоящей работы – оценить состояние транспортной сети автодорог области, ее соответствие требованиям настоящего времени и на перспективу, проанализировать возможные направления развития автодорог и мостостроения.

По обеспеченности дорогами Архангельская область занимает 68-е место среди регионов России [1]. Значительное количество мостов на автомобильных дорогах деревянные. Они, как правило, находятся в неудовлетворительном состоянии, требуют замены на железобетонные и металлические или деревянные современной конструкции.

Плохая транспортная сеть сдерживает экономическое развитие области, препятствует нормальной деятельности промышленных и сельскохозяйственных предприятий, увеличивает трудозатраты на освоение месторождений полезных ископаемых, затрудняет развитие бытовых, хозяйственных и культурных связей между отдельными населенными пунктами и районами. Свыше 50 % населенных пунктов области не обеспечены круглогодичным автомобильным сообщением с районными центрами, а 9 районов области из 19 не имеют надежной транспортной связи с областным центром [2, 3, 5, 9].

Развитие транспортной сети автодорог области требует комплексного подхода, который должен учитывать:

- наличие существующей сети автодорог общего назначения и промышленных;

- сеть лесовозных автомобильных и железных дорог;

- программу развития дорожного хозяйства области;

- состояние производственных мощностей дорожных строительных и мостостроительных организаций;

- существующую связь между населенными пунктами, районными центрами, районными и областными центрами;

- размещение разведанных месторождений природных ископаемых и перспективных площадей лесных массивов для лесоразработок;

- интересы области, связанные с нормальной деятельностью промышленных и сельскохозяйственных предприятий, обеспечением бытовых, хозяйственных и культурных связей, развитием туризма, состоянием экологии, охраны окружающей среды и т. д.

На основании анализа результатов исследований предлагается несколько направлений развития транспортной сети автодорог:

- строительство новых автомобильных дорог общего пользования в плане развития транспортной инфраструктуры области;

- целевое строительство автомобильных дорог к местам освоения лесных массивов и природно-сырьевых ресурсов, а также для развития туризма;

реконструкция существующих автомобильных дорог с повышением их категории в зависимости от назначения;

реконструкция лесовозных дорог с повышением их категории до уровня автомобильных дорог общего пользования.

В каждом отдельном случае рациональное решение может быть получено разумной комбинацией рассмотренных направлений. Нет сомнений, что использование трасс существующих дорог общего пользования и лесовозных дорог с доведением их состояния до современного уровня потребует меньших финансовых вложений, сократит сроки строительства и ввода в эксплуатацию. Исключаются или значительно уменьшаются работы по прокладке просек, отчуждению земель, объемам вырубке леса и земляных работ, снижается влияние дорожно-строительной техники на окружающую среду и биогеоценоз в частности и т. д. По данным [4], например, использование лесовозных дорог позволит не менее чем на треть сократить затраты за счет уменьшения капитальных вложений на строительство земляного полотна.

При решении задач, связанных с развитием транспортной сети, следует учитывать сложившуюся годами специфику сборного мостостроения, связанную с изготовлением мостовых железобетонных и металлических конструкций за пределами области, производственной мощностью мостостроительных организаций.

Развитие транспортной сети как первоосновы для решения стратегических экономических задач России на Европейском Севере требует коренного изменения структуры мостостроения региона. Помимо традиционно применяемых в капитальных мостах железобетонных, сталежелезобетонных и металлических конструкций, должна быть использована клееная древесина при разработке современных конструктивных решений пролетного строения мостового сооружения.

Предварительные расчеты показали, что традиционное мостостроение региона не закроет и половины требуемой протяженности мостов на строящихся и реконструируемых автомобильных дорогах. Другая половина может и должна быть закрыта современными мостами с пролетными строениями из клееной древесины, в том числе из балок комбинированного сечения (клееная древесина и железобетон).

Практика мирового мостостроения насчитывает десятки тысяч подобных мостов на автомобильных дорогах общего пользования и несколько сотен на лесовозных дорогах (США, Канада). Стоимость деревянного моста в современном исполнении составляет 2/3 стоимости стального и железобетонного [11], сроки эксплуатации в среднем 50 лет, что выше реальных сроков эксплуатации железобетонных и стальных мостов, равных 30 ... 35 годам [10].

Строительство мостов на автомобильных дорогах с пролетными строениями из древесины является одним из направлений технической политики Федерального департамента дорог России [6]. Применение клееной древесины в ребре, а железобетона в плите балки дает до 25 % экономии

клееной древесины на балку при существенном улучшении эксплуатационных характеристик пролетного строения в целом [7, 12].

Внедрение клееной древесины в мостостроение потребует развития ее производства на современной технологической основе с применением полиуретановых клеев и экологически чистых препаратов для консервации древесины, создания новых производственных структур мостостроения. Для решения этой задачи область имеет научный потенциал, технические и рабочие кадры, древесину.

Освоение, а затем и выход на требуемые объемы мостостроения из клееной древесины, в том числе с использованием железобетона, явится существенным вкладом в развитие производственного потенциала региона, будет способствовать внедрению новых современных технологий, обеспечит загрузку производственных мощностей и занятость населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные дороги общего пользования: Справочник о наличии и протяженности по состоянию на 1 января 1998 года. – М.: ГП Информавтодор, 1998. – 54 с.
2. *Ефремов А.А.* Дороги будут круто менять направление //Автомоб. дороги. – 1997. – № 11. – С. 14–16.
3. *Калямин В.И.* Это сладкое слово «реструктуризация» //Автомоб. дороги. – 1997. – № 11. – С. 17–18.
4. *Морозов С.И., Морозов В.С.* Транспортное освоение территории Архангельской области на базе лесовозных дорог // Научно-техническая политика и развитие новых отраслей экономики Архангельской области: Тез. докл. науч.-практ. конф. – Архангельск, 1998. – С. 93–94.
5. Программа развития дорожного хозяйства Архангельской области до 2000 года (без Ненецкого автономного округа) // Ведомости Архангельского областного собрания депутатов. – Архангельск, 1995. – № 1. – 57 с.
6. *Скворцов О.В.* Техническая политика Федерального дорожного департамента в области мостостроения: Повышение надежности строящихся и эксплуатируемых мостов // Сб. докл. Рос. семинара (20-24 ноября 1995 г., г. Павловск). – Павловск, ДУИЦ, 1996. – 66 с.
7. *Стуков В.П.* Мосты с балками комбинированного сечения из клееной древесины и железобетона. – Архангельск: АГТУ, 1997. – 175 с.
8. США: Энциклопедический словарь. – М.: Сов. энцикл., 1981. – С. 1246–1248.
9. *Юдахин Ф.Н.* и др. Минеральные ресурсы Архангельской области. Прогноз тенденций развития / Ф.Н. Юдахин, Ю.Г. Кутинов, В.И. Иотов, З.Б. Чистова // Научно-техническая политика и развитие новых отраслей экономики Архангельской области: Тез. докл. науч.-практ. конф. – Архангельск, 1998. – С. 100–101.
10. *Gutkowski R., Williamson T.* Timber bridge: State-of-the-art // Journ. of Structural Engineering. – 1983. – Vol. 109, N 9. – P. 2175-2191.
11. *Ou F., Weller C.* An overview of timber bridges // Transp. Res. Rec. – 1986. – N 1053. – P. 1–12.

12. *Rautakorpi H.* a.o. Research project development of wood bridges, prospects of wood in various types of bridges / H. Rautakorpi, F. Tesar, A. Jutila a. o. Helsinki University of Technology, Laboratory of Bridge Engineering. – Otaniemi, 1993. – Publ. N 5. – 54 p.

13. The timber bridge touted in Vt/Woodshop News. – 1989. – 3, N 10. – P. 132–133.

Архангельский государственный технический университет

Поступила 13.01.99

V.P. Stukov

Roads and Bridges of the Arkhangelsk Region: their Past and Future

The state, adequacy to time, possible development areas of the regional transport network of highways and bridges are investigated. The expediency of using modern constructional materials in bridge engineering – glued laminated timber separately or in combination with reinforced concrete - is pointed out.

УДК 630*36

Д.Г. Шимкович

Шимкович Дмитрий Григорьевич родился в 1952 г., окончил в 1976 г. Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры теории и конструирования машин Московского государственного университета леса. Имеет около 60 научных трудов в области механики, многокритериальной оптимизации, проектирования лесозаготовительного оборудования.



О СООТНОШЕНИЯХ ДЛЯ ОЦЕНКИ СИЛОВЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Предложен ряд соотношений, удобных для оценки на начальных стадиях проектирования силовых и конструктивных параметров грузоподъемных гидравлических манипуляторов.

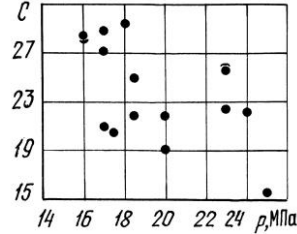
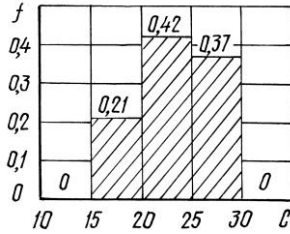
грузоподъемные манипуляторы, проектирование, оценка массы манипуляторов и грузоподъемные моменты, корреляционные оценки.

При решении задач проектирования грузоподъемных манипуляторов и лесозаготовительных машин манипуляторного типа возникает необходимость в определении сравнительно простых соотношений для оценки ряда параметров манипулятора до разработки его конструкции: массы манипулятора и его звеньев, требуемого момента поворота, массы рабочих органов и др. по заданным значениям основных параметров: максимального вылета L и грузоподъемного момента $M = GL$, где G – грузоподъемная сила, $G = Qg$; Q – грузоподъемность манипулятора, $Q = m_{з\gamma} + m_{гр}$; $m_{з\gamma}$ – масса навесного захватного устройства (рабочего органа), $m_{гр}$ – масса расчетного груза.

Оценка массы манипулятора. Соотношение для оценки массы всего манипулятора (без навесного рабочего органа) можно получить из следующих соображений. Основу конструкции грузоподъемных манипуляторов, используемых в лесной промышленности, составляют балки коробчатого типа с площадью поперечного сечения A , пропорциональной квадратному корню из величины изгибающего момента [4]; данный момент, в свою очередь, пропорционален грузоподъемному моменту M , т. е. $A \sim \sqrt{M}$. Тогда масса коробчатой балки длиной L будет пропорциональна произведению $L\sqrt{M}$. Следовательно, массу m манипулятора в зависимости от L и M можно представить в виде

$$m = C L \sqrt{M}, \quad (1)$$

где C – некоторый коэффициент массы, зависящий от конструктивных особенностей: используемых материалов, принятых толщин стенок и



формы балок, давления в гидросистеме и др.

Страна	Марка манипулятора	M , кН·м	L , м	m , кг	$M_{\text{п}}$, кН·м	p , МПа	C
Россия	ЛВ-191	30	5,2	-	10,0	16,0	-
	ЛВ-184	50	6,0	1190	-	16,0	28,0
	ЛВ-185	75	7,3	1850	16,0	18,0	29,3
	УМ-110	110	8,8	1750	24,0	20,0	19,0
	СФ-65С	65	7,1	1650	16,0	17,0	28,8
Финляндия	LOGLIFT 40S	36	6,5	820	13,0	17,0	21,0
	LOGLIFT 60S	60	7,0	1180	14,0	20,0	21,8
	LOGLIFT F65S	65	7,1	1550	16,0	17,0	27,1
	LOGLIFT F81S	79	7,5	1660	17,3	18,5	24,9
	LOGLIFT F81ST	73	9,6	1790	17,3	18,5	21,8
	LOGLIFT F130S	130	8,0	2040	25,8	23,0	22,4
	LOGLIFT SuperGS	150	8,7	2350	31,0	24,0	22,0
	LOGLIFT 240S	230	7,8	1830	42,0	25,0	15,5
	LOGLIFT F300S	255	8,1	2850	47,0	24,0	22,0
Швеция	JONSERED 590	50	8,6	1240	13,0	17,5	20,4
	JONSERED 790	70	7,5	1600	20,0	23,0	25,5
	JONSERED 990	90	7,9	1925	21,0	23,0	25,7
	HIAB 071	70	7,2	1085	-	-	18,0
	HIAB 090	80	7,2	1225	-	-	19,0
Болгария	Шипка 2540-Н	25	5,0	710	-	16,0	28,4

Примечание. $M_{\text{п}}$ – момент поворота манипулятора; p – давление в гидросистеме.

Рис. 1.

Рис. 2.

В таблице приведены значения коэффициента $C = m/L\sqrt{M}$ для ряда существующих манипуляторов. На рис. 1 показана гистограмма его распределения $C(f)$, где f – коэффициент трения для опор скольжения сталь – бронза. Как видно, коэффициент массы манипуляторов данного типа изменяется в пределах 15 ... 30, со средними значениями 20 ... 25, которые можно использовать при оценке массы манипулятора на начальных стадиях проектирования. Размерность величин в формуле (1): L – м, M – кН·м,

m – кг. Коэффициент C можно также применять для оценки качества конструкции спроектированного манипулятора.

На рис. 2 приведены данные таблицы в координатах C и p . Хотя коэффициент корреляции ($-0,3$) этих величин невысок, однако достаточно отчетливо прослеживается тенденция снижения коэффициента массы манипулятора с ростом давления в гидросистеме, что обусловлено уменьшением массы гидроцилиндров и другой гидроаппаратуры при увеличении давления.

Отметим, что формула, подобная (1), ранее была приведена в [2], однако без обоснования ее вида.

Оценка массы звеньев манипулятора. Масса манипулятора выражается суммой масс его конструктивных элементов:

$$m = m_{\text{оп}} + m_0 + m_1 + m_2, \quad (2)$$

где $m_{\text{оп}}$ – масса опорно-поворотного устройства;

m_0 – масса колонны;

m_1 – масса стрелы;

m_2 – масса рукояти манипулятора.

В данные величины входят также массы соответствующих присоединяемых гидродвигателей, трубопроводов и т. д.

Основной силовой фактор – изгибающий момент в вертикальной плоскости в звеньях манипулятора (рукоять и стрела) при трехшарнирной подвеске рабочего органа изменяется примерно пропорционально расстоянию от конца манипулятора, поэтому соотношение M_1/M_2 максимальных изгибающих моментов в стреле и рукояти манипулятора

$$\frac{M_2}{M_1} \approx \frac{l_2}{L} \approx \frac{l_2}{l_1 + l_2} = \frac{1}{1 + \mu'}, \quad (3)$$

где l_1 – длина стрелы;

l_2 – длина рукояти;

μ – относительная длина стрелы, $\mu = l_1/l_2$; для существующих манипуляторов $\mu = 0,8 \dots 1,6$.

При выводе формулы (3) учтено, что $L \approx l_1 + l_2$, откуда, задавшись значением μ , можно получить оценки длин звеньев соответственно рукояти и стрелы:

$$l_2 \approx \frac{L}{1 + \mu}; \quad l_1 = \mu l_2. \quad (4)$$

С учетом (3) найдем соотношение масс стрелы и рукояти коробчатой конструкции:

$$\frac{m_2}{m_1} \approx \frac{l_2 \sqrt{M_2}}{l_1 \sqrt{M_1}} = \frac{1}{\mu \sqrt{1 + \mu}}. \quad (5)$$

Обозначим $\bar{m}_1 = m_1/l_1$ – средняя погонная масса стрелы; $\bar{m}_2 = m_2/l_2$ – средняя погонная масса рукояти. Тогда из (5) получим соотношение для погонных масс:

$$\frac{\bar{m}_2}{\bar{m}_1} = \frac{1}{\sqrt{1+\mu}}. \quad (6)$$

Погонная масса колонны манипуляторов (без опорно-поворотного устройства) оказывается примерно на 10% больше средней погонной массы стрелы вследствие отступления от оптимальных размеров поперечных сечений колонны для согласования их с диаметром вала механизма поворота. С учетом этого выражение для массы колонны можно записать в виде

$$m_0 = \alpha \bar{m}_1 l_0, \quad (7)$$

где $\alpha \approx 1,1$;

l_0 – длина колонны.

Диаметр опорно-поворотного устройства с наиболее распространенным механизмом поворота реечно-шестеренного типа можно оценить из расчета на изгиб моментом M :

$$D = \sqrt[3]{\frac{M}{0,1[\sigma]}},$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение, $[\sigma] \approx 30 \dots 40$ МПа.

Высота H механизма поворота по статистике для существующих манипуляторов составляет $H = (1,5 \dots 2,0)D$. Тогда масса механизма поворота будет пропорциональна D^3 , т. е.

$$m_{\text{оп}} \approx C_{\text{оп}} M, \quad (8)$$

где C – коэффициент пропорциональности, полученный на основе данных для существующих манипуляторов (ЛВ-184, ЛВ-185), $C \approx 5 \dots 6$.

Используя выражения (4)–(7), из формулы (2) получаем оценку погонной массы стрелы:

$$\bar{m}_1 = \frac{m - m_{\text{оп}}}{\alpha l_0 + l_1 + \frac{l_2}{\sqrt{1+\mu}}}, \quad (9)$$

на основе которой можно подсчитать по приведенным формулам массу колонны, стрелы и рукояти. Координаты центров масс стрелы и рукояти составляют примерно 0,30 ... 0,45 от длин этих звеньев.

Оценка момента поворота манипулятора. Требуемый момент поворота манипулятора M_n определяют по формуле

$$M_n = M_b + M_{\text{ин}} + M_{\text{тр}}, \quad (10)$$

где M_b – момент от ветровой нагрузки;

$M_{\text{ин}}$ – момент от сил инерции конструкции манипулятора и груза;

$M_{\text{тр}}$ – момент от сил трения в опорах.

Оценка момента от ветровой нагрузки: $M_B \approx F_B L$, где F_B – ветровая нагрузка на груз, $F_B = p_B A_{гр}$; p_B – расчетное давление ветра [3], $p_B = 150 \text{ Н/м}^2$; $A_{гр}$ – площадь миделя груза, для манипуляторов грузоподъемностью 0,5 ... 3,0 т $A_{гр} = 2,0 \dots 5,3 \text{ м}^2$ [3], т. е. $F_B = 300 \dots 800 \text{ Н}$ или $F_B = 500 \dots 800 \text{ Н}$, так как по ГОСТ 1451-77 при расчетах должны использоваться значения $F_B \geq 500 \text{ Н}$. Тогда при вылетах $L = 5 \dots 10 \text{ м}$

$$M_B = 2,5 \dots 8,0 \text{ кН}\cdot\text{м}. \quad (11)$$

Момент от сил инерции с учетом только массы груза и захватного устройства $M_{ин} = I\varepsilon$, где I – момент инерции груза и захватного устройства (момент инерции конструкции манипулятора не превышает 10% от данной величины [5]), $I = QL^2$; ε – угловое ускорение при повороте манипулятора.

Угловое ускорение ε оценим из условия $\varepsilon = \frac{a^\tau}{L} = \frac{g}{L} \frac{a^\tau}{g} \leq \frac{g}{L} \left[\frac{a^\tau}{g} \right]$, где a^τ – касательное ускорение груза; $[a^\tau/g]$ – допустимое [1] относительное касательное ускорение груза при торможении (разгоне) манипулятора, $[a^\tau/g] = 0,10 \dots 0,15$. Тогда получаем следующую оценку момента от сил инерции:

$$M_{ин} = I\varepsilon = QL^2 \frac{g}{L} \left[\frac{a^\tau}{g} \right] = GL \left[\frac{a^\tau}{g} \right] = (0,10 \dots 0,15)M. \quad (12)$$

Момент сил трения в опорах вала механизма поворота (без учета момента трения в опоре, воспринимающей вертикальную нагрузку, составляющего около 10% от данной величины [5]),

$$M_{тр} = NfD_B = \frac{(1+C_M)M}{H_B} fD_B = (0,05 \dots 0,06)M, \quad (13)$$

где N – нормальные реакции в опорах вала механизма поворота,

$$N = \frac{(1+C_M)M}{H_B};$$

C_M – доля момента сил тяжести конструкции манипулятора от грузоподъемного момента, $C_M = 0,07 \dots 0,20$;

$$f \approx 0,08;$$

D_B, H_B – диаметр вала механизма поворота и расстояние между опорами вала, $H_B/D_B = 1,5 \dots 2,0$.

Подставляя соотношения (11)–(13) в (10), получаем формулу для расчета требуемого момента поворота манипулятора по заданной величине грузоподъемного момента:

$$M_{п} = (2,5 \dots 8,0) + (0,15 \dots 0,21)M, \quad (14)$$

или, в среднем,

$$M_{п} = 5,0 + 0,18M. \quad (15)$$

На рис. 3 представлено сравнение расчетных значений минимального и максималь-

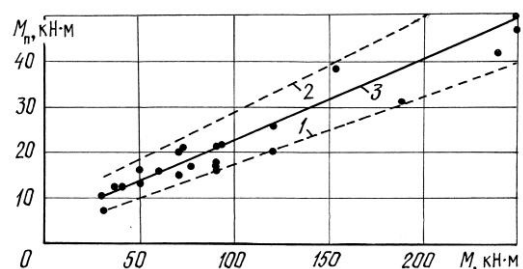


Рис. 3.

ного значений моментов поворота, рассчитываемых по формулам (14), – пунктирные линии 1 и 2, а также среднего момента, определяемого по формуле (15), – сплошная линия 3, со значениями момента поворота существующих манипуляторов (нанесены точками). Как видно, данные формулы позволяют весьма точно оценивать момент поворота манипулятора только по его грузоподъемному моменту без разработки конструкции манипулятора и механизма поворота.

Корреляционные оценки масс навесных рабочих органов. Основными видами рабочих органов, навешиваемых на манипуляторы, используемые в лесозаготовительной промышленности, являются грейферные захваты с площадью зева, как правило, до 0,8 ... 1,0 м² и хваточно-срезающие устройства (ЗСУ).

Масса $m_{з\у}$ грейферных захватов указанного типа составляет

$$m_{з\у} = (0,1 \dots 0,3) Q. \quad (16)$$

Массу ЗСУ или харвестера (хваточно-срезающего сучкорезно-раскряжевочного устройства) для валочных машин манипуляторного типа, работающих по принципу валки срезанного дерева на землю, можно оценить по следующей корреляционной формуле:

$$m_{з\у} = 17,5 d_0 - (200 \dots 400), \quad (17)$$

где d_0 – диаметр расчетного (наибольшего) дерева у комля, см.

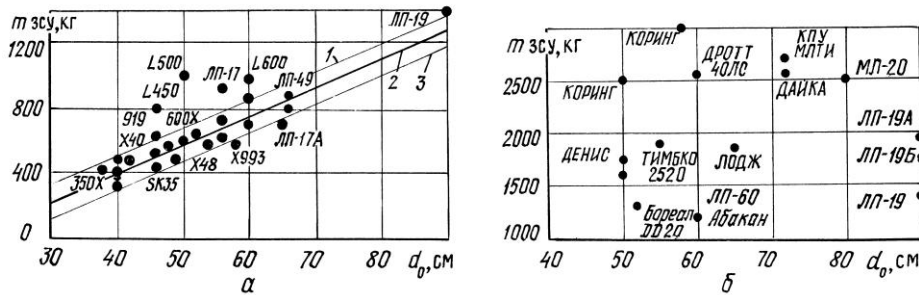


Рис. 4.

Данная формула получена на основе обработки данных для отечественных и зарубежных валочных головок (рис. 4, а; 1 – $m_{з\у} = 17,5 d_0 - 200$ кг; 2 – $m_{з\у} = 17,5 d_0 - 300$ кг; 3 – $m_{з\у} = 17,5 d_0 - 400$ кг).

Для масс ЗСУ валочных машин, работающих по принципу подъема и переноса дерева после срезания (валочно-пакетирующие машины), как видно из рис. 4, б характерен большой разброс – $m_{з\у} = 1300 \dots 3000$ кг, в зависимости от конструктивных особенностей и типа срезающего устройства (цепные пильные, ножевые, с фрезой и т. д.). В среднем масса ЗСУ составляет примерно 2000 кг; более точные оценки рациональнее осуществлять по прототипу.

Таким образом, приведенные в работе формулы позволяют оценивать ряд важных параметров манипуляторов и их элементов до разработки

конструкции. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании грузоподъемных и лесосечных машин манипуляторного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович И.И., Березин В.Н., Яуре А.Г.* Грузоподъемные краны промышленных предприятий: Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 360 с.
2. *Гончаренко Н.Т., Алферьев Н.И., Сафин Н.У.* Исследование и оптимизация параметрического ряда манипуляторов для лесозаготовок // Комплексная механизация лесозаготовок: Сб. науч. тр. – Химки: ЦНИИМЭ, 1982. – С. 79–86.
3. ГОСТ 1451–77. Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 18 с.
4. *Шимкович Д.Г.* Расчет и проектирование металлоконструкций лесных машин. Ч. 1, 2. – М.: МЛТИ, 1992. Ч. 1 – 60 с., ч. 2 – 88 с.
5. *Шимкович Д.Г.* Проектирование механизма поворота гидравлического манипулятора. – М.: МГУЛ, 1994. – 40 с.

Московский государственный университет леса

Поступила 10.02.98

D.G. Shimkovich

On Ratios for Evaluating Power and Design Factors of Lifting Manipulators at the Initial Stages of Designing

A number of ratios are offered for evaluating power and design factors of lifting hydraulic manipulators at the initial stage of designing.

УДК 624.131.524.2

Г.С. Морозов

Морозов Геннадий Станиславович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры строительного производства Архангельского государственного технического университета. Область научных интересов – расчет и проектирование сооружений из мерзлого торфяного грунта.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ОСНОВАНИЙ ВРЕМЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ МЕРЗЛОГО ТОРФЯНОГО ГРУНТА

Рассмотрены различные методы определения модулей деформации оснований из мерзлого торфяного грунта. При этом даже однородное основание рассматривается как многослойное и каждый слой обладает линейно-деформационными свойствами.

мерзлый торфяной грунт, модули деформации мерзлых торфов, расчет модулей.

Определение осадок фундаментов зданий и строительных сооружений является важной практической задачей. В настоящее время оно получило достаточно хорошее обоснование и производится по существующим нормам [5]. В работе [4] приведена методика расчета оснований фундаментов при нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями.

В указанных источниках рассмотрены основания из минеральных грунтов. Основания из мерзлого торфяного грунта имеют ряд специфических отличий. Напряженно-деформированное состояние мерзлого торфа зависит, помимо прочих факторов, от температуры, которая монотонно уменьшается с глубиной и его влажности.

При расчете напряженно-деформированного состояния торфяного основания методами теории упругости используют модуль деформации, который можно определить по зависимости, полученной при экспериментах на одноосное сжатие образцов мерзлого торфа. Эта зависимость аппроксимируется уравнением вида

$$\varepsilon = B\sigma^n, \quad (1)$$

где ε – относительная деформация;

B – коэффициент деформации, МПа⁻¹;

σ – нормальное напряжение, МПа;

n – степенной коэффициент.

Выражение (1) можно привести к виду [1]

$$\sigma = A\varepsilon^m, \quad (2)$$

где $A = B^{-1/n}$; $m = 1/n$.

Зависимость (2) имеет криволинейный характер (рис. 1, линия 1), поэтому при определении модуля деформации следует аппроксимировать ее уравнением прямой линии. Самым простым методом является аппроксимация по методу секущих. В этом случае зависимость $\sigma = \sigma(\epsilon)$ изображается секущей, проходящей через точки O и A (рис. 1, линия 2). Угловым коэффициентом ее равен расчетному модулю деформации мерзлого торфа в этом диапазоне изменения напряжений:

$$E_1 = \frac{\sigma_A}{\epsilon_A}, \quad (3)$$

где σ_A, ϵ_A – напряжение и относительная деформация в точке A .

Значения E_1 для различных напряжений приведены в табл. 1.

Однако такой способ аппроксимации следует признать грубым, так как напряжения и деформации совпадают только в двух точках: O и A . В остальных точках этого участка кривой $\sigma(\epsilon)$ наблюдается расхождение в сторону превышения действующих напряжений, которые тем больше, чем больше проявляется нелинейность зависимости $\sigma(\epsilon)$. Для уменьшения погрешности вычислений необходимо произвести аппроксимацию кривой $\sigma(\epsilon)$ на заданном диапазоне изменения ϵ таким образом, чтобы прямая линия занимала некоторое промежуточное положение (рис. 1, линия 3).

Для этой цели наиболее удобно использовать метод наименьших квадратов. В интегральной форме исходное уравнение имеет вид

$$I = \int_0^{\epsilon_0} (E_2\epsilon - A\epsilon^m)^2 d\epsilon, \quad (4)$$

где I – интеграл квадрата отклонений.

Таблица 1

Напряжение σ , МПа	Расчетные характеристики модулей деформации				
	ϵ	E_1 , МПа	E_2 , МПа	$\frac{E_1 - E_2}{E_1} \cdot 100\%$	E_3 , МПа
0,05	0,003635	13,8	9,8	28,65	41,7
0,10	0,004569	21,9	13,0	40,36	66,3
0,20	0,005744	34,8	20,8	40,36	105,5
0,30	0,006566	45,7	27,2	40,36	138,5
0,40	0,007220	55,4	33,0	40,36	167,9
0,50	0,007772	64,3	38,4	40,45	195,0

Примечание. Температура мерзлого торфа –8 °С; влажность 400 %; время действия нагрузки 120 ч.

Таблица 2

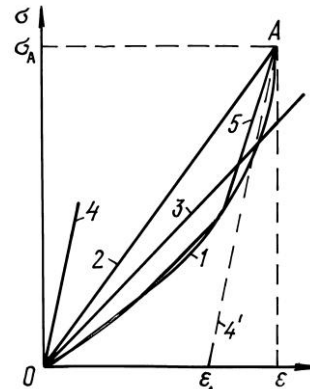


Рис. 1. Кривая зависимости напряжений от относительной деформации и способы ее аппроксимации

Время действия нагрузки, ч	Влажность торфа, %	Температура торфа, °С	Расчетный модуль деформации торфа, МПа, при напряжении, МПа						
			0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
120	400	-3	4,35	7,66	13,48	18,77	23,72	28,46	
		-8	9,80	13,05	20,83	27,25	33,04	38,37	
		-17	13,16	18,74	26,70	32,83	38,02	42,60	
		-25	16,00	21,56	29,04	34,57	39,12	43,06	
20	400	600	-3	5,75	9,15	14,56	19,10	23,17	26,91
		-8	9,06	13,27	19,43	24,29	28,43	32,18	
20	400	-3	4,42	7,81	13,56	19,02	24,42	29,66	
		-8	8,74	13,56	21,13	28,64	35,54	42,01	

Используя условие $\frac{\partial I}{\partial \varepsilon} = 0$ и выполняя необходимые преобразования, получаем

$$E_2 = \frac{3n}{B(1-2n)} \sigma^{1-n}. \quad (5)$$

Уравнение (5) позволяет определить расчетный модуль деформации мерзлого торфа ($E_p = E_2$) для различных значений температуры, влажности и времени действия нагрузки (табл. 2), полученных по материалам экспериментальных исследований [3]. Значения E_p , приведенные в табл. 2, хорошо совпадают с данными работы [2].

Расхождение в величине модулей деформации, определенных двумя рассмотренными способами (табл. 1 и 2), довольно существенно и достигает 40 %.

Как видно из рис. 1, второй способ более точно аппроксимирует криволинейный участок $O-A$, однако при больших значениях σ расхождения в напряжениях все же большие. Второй способ дает преимущественно заниженные значения модуля деформации, поэтому его можно использовать лишь в приближенных расчетах.

Модуль деформации является переменной величиной, зависящей от уровня напряжений, действующих в той или иной точке грунтового массива. Для каждой точки кривой I (рис. 1) можно определить модуль деформации как тангенс угла наклона касательной в этой точке, т. е. $E = d\sigma/d\varepsilon$. Используя зависимость (1), получаем

$$E = E_3 = \frac{1}{Bn} \sigma^{1-n}. \quad (6)$$

Модуль деформации E_3 характеризует деформационные свойства грунта при бесконечно малом приращении относительной деформации (табл. 1). Значения E_3 существенно больше, чем E_1 и E_2 . Следовательно, сопротивление мерзлого торфа воздействию внешней нагрузки выше, чем при определении методами секущих и наименьших квадратов. На рис. 1 этому случаю соответствуют линии 4 ($\sigma = E_3\varepsilon$) и 4' ($\sigma = f(\varepsilon)$).

Применение уравнения (6) при определении модуля деформации рекомендовать нельзя, так как этот метод дает существенное завышение напряжений.

Анализ показывает, что сведение нелинейной задачи напряженно-деформированного состояния грунтового основания к линейной посредством применения одного модуля деформации для всего основания является слишком грубым.

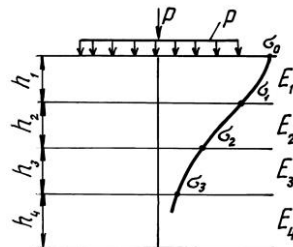
Нелинейный характер изменения модуля деформации в отдельных точках основания, его зависимость от напряжения, температуры, влажности торфа и времени действия нагрузки делает трудноосуществимым непосредственное применение обычных приближенных методов решения нелинейных задач теории упругости [2] для расчета напряженно-деформированного состояния основания из мерзлого торфа.

Нами предлагается приближенный метод такого расчета, согласно которому любое, даже однородное, грунтовое основание рассматривается как многослойное. Предполагается, что каждый слой обладает линейно-деформационными свойствами, а число слоев зависит от точности решения задачи.

Модуль деформации каждого слоя определяется уровнем действующих в нем напряжений $\sigma = \sigma_z$ и рассчитывается по уравнению (2) методом наименьших квадратов [1].

На рис. 2 показан пример разбивки грунтового массива на четыре слоя.

Рис. 2. Схема разбивки грунтового массива на слои



Выразив напряжения на поверхности каждого слоя в долях от напряжения на поверхности массива ($\sigma_{i-1} = C_1\sigma_0$ и $\sigma_i = C_2\sigma_0$), получим расчетное уравнение

$$E_4 = \frac{C_1 - C_2}{B(C_1^n - C_2^n)} \sigma^{1-n}. \quad (7)$$

Пример расчета E_4 приведен в табл. 3.

Таблица 3

Напряжения на поверхности каждого слоя, МПа	0,3	0,2	0,08	0,02
Расчетный модуль деформации слоя E_4 , МПа, полученный методом:				
секущих	121,6	80,1	38,5	7,7
наименьших квадратов	122,4	82,5	41,1	13,5

Замена однослойного массива многослойным при расчетах напряженно-деформированного состояния основания в зависимости от уровня действующих в нем напряжений равносильна замене фактической зависимости $\sigma(\varepsilon)$ ломаной линией 5 (рис. 1).

Такая аппроксимация называется кусочно-линейной и хорошо описывает реальные свойства материала основания. Точность определения модуля деформации E_4 зависит от числа сторон ломаной линии и повышается с увеличением их числа. Однако при этом возрастает трудоемкость вычислений, поэтому число слоев не должно быть большим.

Рассмотренный метод является приближенным. В частности, не принимаются во внимание изменения напряжений не только по глубине массива основания, но и в двух других направлениях. Но он более полно учитывает способность мерзлого торфа сопротивляться действующим нагрузкам, а также изменение механических свойств мерзлого торфа в зависимости от характера распределения его температуры и влажности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вялов С. С. и др. Прочность и ползучесть мерзлых грунтов и расчет ледогрунтовых ограждений / С.С. Вялов, В. Г. Гмошинский, С. Э. Городецкий и др. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 254 с.
2. Коваленко Н. П. Техническая мелиорация торфяных грунтов в строительных целях. – Архангельск: АЛТИ, 1971. – 72 с.
3. Коваленко Н. П., Морозов В. С. Деформационные свойства мерзлого торфа // Лесн. журн. – 1978. – № 3. – С. 43-48. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Мальшев М. В., Никитина Н. С. Расчет осадок фундаментов при нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями в грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1982. – № 2. – С. 21-25.
5. СНиП 2.02.01.–83. Основания зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985.

Архангельский государственный технический университет
Поступила 22.03.99

G.S. Morozov

Determining the Calculated Values of the Deformation Modules for Temporary Structures Basement made of Frozen Peat Ground

Different methods of determining the deformation modules for basements made of frozen peat ground are viewed. In this case even the uniform basement is treated as a multilayer one, every layer possessing the linear deformation properties.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.935

Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин

Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет более 200 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры машин и оборудования лесного комплекса Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области лесопильного оборудования и инструмента.



УСТОЙЧИВОСТЬ ПИЛЫ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНОГО СТАНКА С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ АЭРОСТАТИЧЕСКИМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ

Приведены результаты теоретических исследований устойчивости пилы ленточнопильного станка нового типа. При выводе формулы критической силы энергетическим методом рассмотрен случай, когда протяженность распределенной нагрузки, равная высоте пропила, может составлять часть свободной длины пилы.

ленточнопильные станки, устойчивость пилы, аэростатические направляющие, энергетический метод расчета.

Значительного повышения эффективности пиления древесины можно достигнуть при использовании ленточнопильного станка с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим [2, 3]. Общий вид станка приведен на рис. 1.

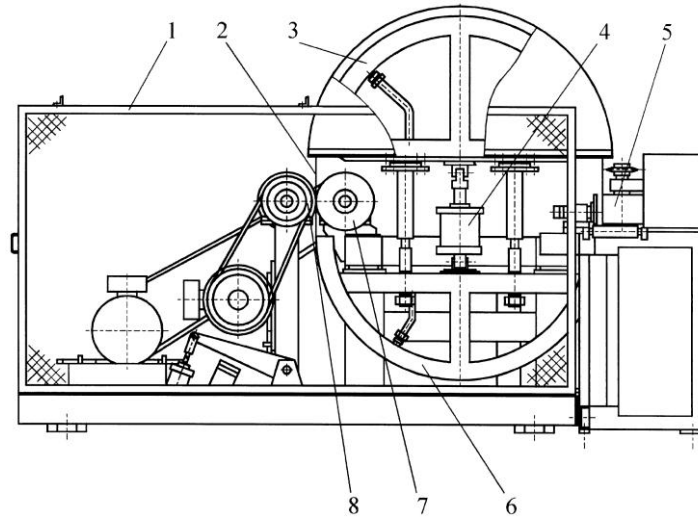


Рис. 1. Ленточнопильный станок с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим: 1 – ограждение; 2 – пила; 3, 6 – верхняя и нижняя криволинейные аэростатические направляющие; 4 – механизм натяжения пилы; 5 – механизм подачи; 7, 8 – приводные фрикционные колеса

Одно из существенных преимуществ ленточнопильного станка нового типа – снижение в несколько раз свободной длины пилы, а следовательно, повышение ее устойчивости и точности пиления. Для оценки эффективности этого способа совершенствования ленточнопильных станков и расчета режимов пиления необходимо изучить устойчивость ленточной пилы, которая характеризуется критической силой.

В работе [4] приведены результаты теоретических исследований устойчивости рамных и ленточных пил в направляющих. Нагрузка, действующая на полотно пилы в плоскости наибольшей жесткости, принята равномерно распределенной между направляющими. Установлено, что заменяя сосредоточенную нагрузку на распределенную, получаем критическую силу с большой погрешностью.

При выводе формулы критической силы в работе [4] протяженность равномерно распределенной нагрузки (высота пропила h) принята равной расстоянию между направляющими. Это частный (крайний) случай.

У ленточнопильного станка с криволинейными направляющими при заданном расстоянии между ними, которое определяет свободную длину пилы l , высота пропила не равна l , а составляет ее часть, т. е. $h \leq l$.

В данной работе ставится цель рассмотреть этот более общий случай, соответствующий реальным условиям пиления.

Критическую силу пилы определяем энергетическим методом, который при своей простоте обладает достаточной для практики точностью (рис. 2).

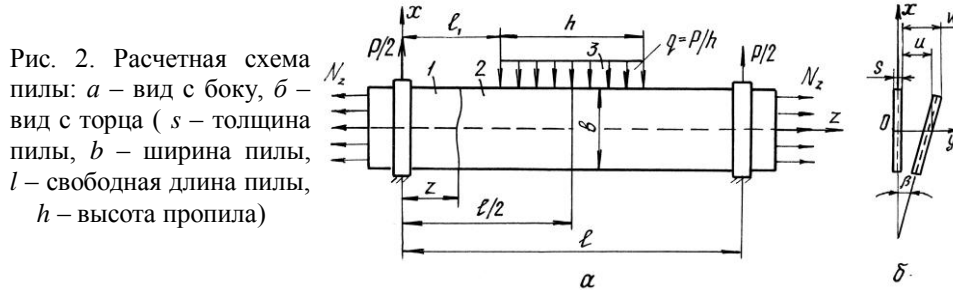


Рис. 2. Расчетная схема пилы: *a* – вид с боку, *б* – вид с торца (*s* – толщина пилы, *b* – ширина пилы, *l* – свободная длина пилы, *h* – высота пропила)

В момент потери пилы устойчивости справедливо равенство

$$U = W, \tag{1}$$

где *U* – потенциальная энергия деформации изгиба и кручения пилы;

W – работа, совершаемая силами в срединной плоскости.

Работа сил в срединной плоскости определяется по формуле Брайана [5]. О возможности применения этой формулы при исследовании устойчивости полосы указывается в [1]. Для рассматриваемого случая имеем:

$$W = -\frac{1}{2} \int_{-b/2}^{b/2} \int_0^l N_z \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + 2 N_{xz} \frac{\partial w}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial x} dx dz, \tag{2}$$

где *b* – ширина полотна пилы;

N_z – нормальные усилия, приходящиеся на единицу ширины полотна пилы, действующие по оси *z*;

N_{xz} – касательные усилия, приходящиеся на единицу ширины полотна пилы;

w – прогиб полотна пилы в плоскости наименьшей жесткости.

Рассмотрим действующие на участке 1–2 (рис. 2) усилия: нормальные

$$N_z = \frac{P s x z}{2 J_z} + \frac{N}{b}, \tag{3}$$

где $J_z = \frac{s b^3}{12}$ – момент инерции сечения пилы в плоскости наибольшей жесткости, мм⁴;

s – толщина пилы, мм;

касательные

$$N_{xz} = \frac{3 P}{4 b} \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right). \tag{4}$$

Рассмотрим действующие на участке 2–3 (рис. 2) усилия: нормальные

$$N_z = \frac{P s x z}{2 J_z} - \frac{q s x (z^2 - 2 z l_1 + l_1^2)}{2 J_z} + \frac{N}{b}; \tag{5}$$

касательные

$$N_{xz} = \frac{3 P}{4 b} \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right) - \frac{3 q}{2 b} \left(-l_1 \right) \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right). \tag{6}$$

Деформацию полотна пилы при потере устойчивости представим в следующем виде:

для прогиба оси пилы

$$u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \bar{u}_n \sin \frac{n\pi z}{l};$$

для угла закручивания

$$\beta = \sum_{n=1}^{n=\infty} \bar{\beta}_n \sin \frac{n\pi z}{l}.$$

Прогиб любой точки полотна пилы:

$$w = u + \beta x = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left(\bar{u}_n \sin \frac{n\pi z}{l} + \bar{\beta}_n x \sin \frac{n\pi z}{l} \right). \quad (7)$$

Расчеты показывают, что, принимая только первый член ряда (7), имеем ошибку при расчете критической силы не более 5 ... 6 %, что приемлемо для практических расчетов [1].

Уравнение прогибов представляем в виде

$$w = \left(\bar{u} + \bar{\beta} x \right) \sin \frac{\pi z}{l}. \quad (8)$$

Дифференцируя (8), получаем

$$\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\pi}{l} (\bar{u} + \bar{\beta} x) \cos \frac{\pi z}{l}, \quad (9)$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \bar{\beta} \sin \frac{\pi z}{l}. \quad (10)$$

После подстановки в формулу (2) выражений (3) – (10) имеем:

$$\begin{aligned} W = & \int_{-b/2}^{b/2} \int_0^{l_1} \frac{P s x z}{2 J_z} \frac{\pi^2}{l^2} (\bar{u}^2 + 2 \bar{u} \bar{\beta} x + \bar{\beta}^2 x^2) \cos^2 \frac{\pi z}{l} dx dz + \\ & + \int_{-b/2}^{b/2} \int_{l_1}^{l/2} \left[\frac{P s x z}{2 J_z} - \frac{q s x (z^2 - 2 z l_1 + l_1^2)}{2 J_z} \right] \frac{\pi^2}{l^2} (\bar{u}^2 + 2 \bar{u} \bar{\beta} x + \bar{\beta}^2 x^2) \cos^2 \frac{\pi z}{l} dx dz + \\ & + 2 \int_{-b/2}^{b/2} \int_0^{l_1} \frac{3 P}{4 b} \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right) \frac{\pi}{l} \bar{\beta} (\bar{u} + \bar{\beta} x) \sin \frac{\pi z}{l} \cos \frac{\pi z}{l} dx dz + \\ & + 2 \int_{-b/2}^{b/2} \int_{l_1}^{l/2} \frac{3 P}{4 b} \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right) - \frac{3 q (z - l_1)}{2 b} \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right) \frac{\pi}{l} \bar{\beta} (\bar{u} + \bar{\beta} x) \sin \frac{\pi z}{l} \cos \frac{\pi z}{l} dx dz - \\ & - \int_{-b/2}^{b/2} \int_0^{l/2} \frac{N}{b} \frac{\pi^2}{l^2} (\bar{u}^2 + 2 \bar{u} \bar{\beta} x + \bar{\beta}^2 x^2) \cos^2 \frac{\pi z}{l} dx dz. \end{aligned}$$

Учитывая, что $P = qh$ и интегрируя с выполнением необходимых преобразований, получаем:

$$W = P \bar{u} \bar{\beta} \left(\frac{\pi^2}{16} + \frac{1}{4} \right) - \frac{P}{h} \bar{u} \bar{\beta} \left(\frac{\pi^2 l}{48} - \frac{\pi^2 l_1^3}{6 l^2} - \frac{l}{8 \pi} \sin \frac{2\pi l_1}{l} + \frac{l}{8} - \frac{\pi^2 l_1}{8} - \frac{3 l_1}{4} + \right. \\ \left. + \frac{\pi^2 l_1^2}{4 l} + \frac{l_1}{2} \cos \frac{2\pi l_1}{l} + l_1 \sin^2 \frac{\pi l_1}{l} \right) - \\ - \frac{\pi^2 N}{4 l} \left(\bar{u}^{-2} + \bar{\beta}^{-2} \frac{b^2}{12} \right). \quad (11)$$

Величина критической силы $P_{кр}$ зависит от расположения точки ее приложения. В полученном уравнении работы внутренних сил не учтено, что нагрузка приложена к режущей кромке пилы, а не в центре поперечного сечения. Необходимо определить дополнительную работу, учитывающую понижение нагрузки при потере пилой устойчивости.

Возьмем элемент dz (рис. 2, б), расположенный на расстоянии z от левой опоры. Угол поворота сечения пилы у этого элемента $\beta = \bar{\beta} \sin \frac{\pi z}{l}$.

Понижение нагрузки a при повороте пилы на угол β

$$a = \frac{b}{2} (1 - \cos \beta) \approx \frac{b}{4} \beta^2 = \frac{b}{4} \bar{\beta}^2 \sin^2 \frac{\pi z}{l}.$$

Нагрузка, действующая на элемент пилы длиной dz , равна $\frac{P}{h} dz$.

Дополнительная работа за счет понижения нагрузки

$$W = 2 \int_{l_1}^{l/2} \frac{P}{h} \frac{b}{4} \bar{\beta}^2 \sin^2 \frac{\pi z}{l} dz = \frac{P b \bar{\beta}^2}{4} \left(\frac{l/2 - l_1}{h} + \frac{l}{2 \pi h} \sin \frac{2\pi l_1}{l} \right). \quad (12)$$

Так, полная работа внутренних сил в срединной плоскости

$$W = P \bar{u} \bar{\beta} \left(\frac{\pi^2}{16} + \frac{1}{4} \right) - \frac{P}{h} \bar{u} \bar{\beta} \left(\frac{\pi^2 l}{48} - \frac{\pi^2 l_1^3}{6 l^2} - \frac{l}{8 \pi} \sin \frac{2\pi l_1}{l} + \frac{l}{8} - \frac{\pi^2 l_1}{8} - \frac{3 l_1}{4} + \right. \\ \left. + \frac{\pi^2 l_1^2}{4 l} + \frac{l_1}{2} \cos \frac{2\pi l_1}{l} + l_1 \sin^2 \frac{\pi l_1}{l} \right) + \frac{P b \bar{\beta}^2}{4} \left(\frac{l/2 - l_1}{h} + \frac{l}{2 \pi h} \sin \frac{2\pi l_1}{l} \right) - \frac{\pi^2 N}{4 l} \left(\bar{u}^{-2} + \bar{\beta}^{-2} \frac{b^2}{12} \right). \quad (13)$$

Энергия изгиба и кручения пилы определяется по формуле [3]

$$U = \frac{\pi^4}{4 l^3} B \bar{u}^{-2} + \frac{\pi^2}{4 l} C \bar{\beta}^2, \quad (14)$$

где $B = EJ_x$ – изгибная жесткость пилы, Н · мм²;

E – модуль упругости материала пилы, $E = 2,1 \cdot 10^5$ Н/мм²;

$J_x = \frac{b s^3}{12}$ – момент инерции сечения пилы при изгибе, мм⁴;

$C = GJ_k$ – крутильная жесткость пилы, Н · мм²;

G – модуль сдвига материала пилы, $G = 8 \cdot 10^4$ Н/мм²;

$J_k \approx \frac{b s^3}{3}$ – момент инерции сечения пилы при кручении, мм⁴.

Приравняв $U = W$, т. е. правые части уравнений (14) и (13), находим

$$P = \frac{\frac{\pi^2}{4l} \left[\left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) \frac{\bar{u}}{\bar{\beta}} + \left(\frac{N b^2}{12} + C \right) \frac{\bar{\beta}}{\bar{u}} \right]}{A + \frac{\bar{\beta}}{\bar{u}} B}, \quad (15)$$

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

$$B = \frac{b(2-l_1)}{4h} + \frac{bl}{8\pi h} \sin \frac{2\pi l_1}{l}. \quad (17)$$

Обозначим $\frac{\bar{u}}{\bar{\beta}} = y$. Тогда

$$P = \frac{\frac{\pi^2}{4l} \left[\left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) y^2 + \left(\frac{N b^2}{12} + C \right) \right]}{A y + B}. \quad (18)$$

Величину критической силы определим из условия $\frac{dP}{dy} = 0$, т. е.

$$\frac{dP}{dy} = \frac{\frac{\pi^2}{4l} \left[2y \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) - A y^2 \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) - A \left(\frac{N b^2}{12} + C \right) \right]}{(A y + B)^2} = 0.$$

Откуда

$$y = \sqrt{\frac{B^2 + \left(\frac{N b^2}{12} + C \right)}{A^2 + \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right)}} - \frac{B}{A}. \quad (19)$$

Подставляя y из формулы (19) в уравнение (18) и делая соответствующие преобразования, получаем формулу критической силы

$$P_{\text{кр}} = (q h)_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) B}{2 l A^2} \left(\sqrt{1 + \frac{A^2 \left(\frac{N b^2}{12} + C \right)}{B^2 \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right)}} - 1 \right). \quad (20)$$

В случае сосредоточенной нагрузки ($h = 0$ и $l_1 = 1/2$) имеем $A = \frac{\pi^2}{16} + \frac{1}{4}$ и $B = \frac{b}{4}$, в случае распределенной нагрузки по всей свободной длине пила ($h = 1$ и $l_1 = 0$) – $A = \frac{\pi^2}{24} + \frac{1}{8}$ и $B = \frac{b}{8}$. Подставляя значения A и B ,

Высота пропила h , мм	Значения $P_{кр}$, кН, при N , кН				
	2	3	4	5	6
0	0,792	0,994	1,190	1,383	1,575
100	0,825	1,037	1,242	1,444	1,644
200	0,931	1,173	1,407	1,637	1,865
300	1,125	1,422	1,709	1,991	2,271
400	1,425	1,805	2,172	2,533	2,890

полученные из выражений (16) и (17), в формулу (20), получаем формулы для расчета критической силы при сосредоточенной и равномерно распределенной нагрузке по всей свободной длине пилы, приведенные в работах [2, 4].

Проведем расчет $P_{кр}$ на примере ленточной пилы, имеющей параметры, характерные для делительного ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими: $s = 1$ мм; $b = 110$ мм; $l = 400$ мм; $E = 2,15 \cdot 10^5$ МПа; $G = 8,1 \cdot 10^4$ МПа. В таблице приведены результаты расчетов на компьютере с использованием математического пакета Mathcad PLUS 6.0. при разных значениях высоты пропила h и силы натяжения N .

По данным таблицы построены (рис. 3) зависимости, отражающие влияние высоты пропила h и силы натяжения N на $P_{кр}$.

Полученные результаты расчетов показывают большое влияние распределенности нагрузки на устойчивость пилы. Замена распределенной по высоте пропила нагрузки на сосредоточенную при определении критической силы дает погрешность, которая может достигать 40 ... 50 %.

Формулу для сосредоточенной нагрузки можно использовать для оценки относительной эффективности мероприятий, направленных на повышение устойчивости ленточных пил. При расчете режимов пиления древесины необходимо учитывать распределенность по высоте пропила нагрузки, действующей на пилу.

Кроме того, полученная формула критической силы позволяет учесть тот факт, что высота пропила и длина распределенной нагрузки может быть выражена в долях от свободной длины пилы, что повысит точность расчетов.

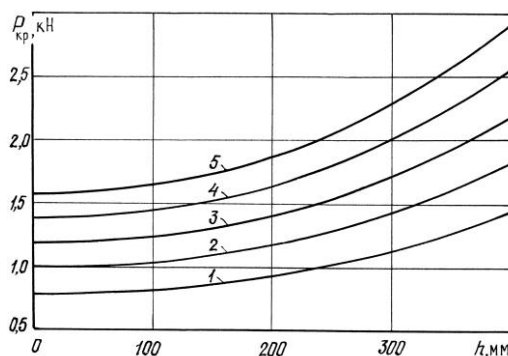


Рис. 3. Зависимость критической силы $P_{кр}$ ленточной пилы от длины распределенной нагрузки (высота пропила) h ($s = 1$ мм, $b = 110$ мм, $l = 400$ мм) и силы натяжения N : 1 – $N = 2$ кН, 2 – 3, 4 – 5, 5 – 6 кН

Приведенные материалы могут быть использованы для оценки преимуществ ленточнопильного станка нового типа, расчета режимов пиления древесины на нем и определения путей дальнейшего совершенствования его конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бернштейн М.С.* Теорема о работе внешних сил на конечных перемещениях и ее применение к задачам об устойчивости упругого равновесия // Расчет пространственных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1962. – Вып. 7. – С. 281–292.
2. *Прокофьев Г.Ф.* Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.
3. *Прокофьев Г.Ф.* Ленточнопильный станок с пилой, движущейся на воздушной подушке // Лесн. пром-сть. – 1994. – № 2. – С. 9–10.
4. *Прокофьев Г.Ф.* Устойчивость рамных и ленточных пил в направляющих // Совершенствование конструкций и методов подготовки и эксплуатации режущего инструмента и лесопильно-деревообрабатывающего оборудования: Науч. тр. ЦНИИМОД. – 1977. – С. 43–48.
5. *Тимошенко С.П.* Устойчивость упругих систем. – 2-е изд. – М.: Гостехиздат, 1955. – 567 с.

Архангельский государственный технический университет

Поступила 29.10.98

G.F. Prokofjev, I.I. Ivankin

Stability of the Saw of Band Sawing Machine with Curvilinear Aerostatic Guides

The results of the theoretical analysis of the saw stability of the band-sawing machine of a new type are presented. When deriving the formula of the critical load by the strain-energy method the case is described when the length of the distributed load equal to the cutting depth, may constitute a part of the unsupported length of the saw.

УДК 674.5

В.В. Сергеевичев

Сергеевичев Владимир Васильевич родился в 1947 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры теории механизмов, деталей машин и подъемно-транспортных устройств С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 30 печатных трудов в области технологии и механики древесных материалов.

**АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФАНЕРНЫХ ТРУБ**

Выполнено решение задачи о напряженном состоянии стенок фанерных труб при равномерном распределении влаги по их толщине.

фанерные трубы, напряженное состояние, анализ напряженного состояния, градиент влажности.

Древесные материалы, адсорбируя жидкости, изменяют свой объем – набухают. При диффузии в них возникают переменные поля концентрации жидкости и соответствующие поля деформаций и напряжений.

Особенностью древесины и древесных конструкционных материалов является наличие предельной концентрации влаги (предел гигроскопичности), выше которой механические свойства и геометрические размеры не изменяются.

Из-за анизотропности древесины наибольшая усушка (разбухание) происходит в тангенциальном направлении, примерно в 2 раза меньше усушка в радиальном направлении, еще меньше – вдоль волокон. Вследствие анизотропии в замкнутом неодносвязном теле, каким является труба, напряжения будут возникать даже при постоянной по объёму концентрации влаги. Они могут представлять серьезную опасность для работоспособности конструкции и приводить к растрескиванию стенок трубы.

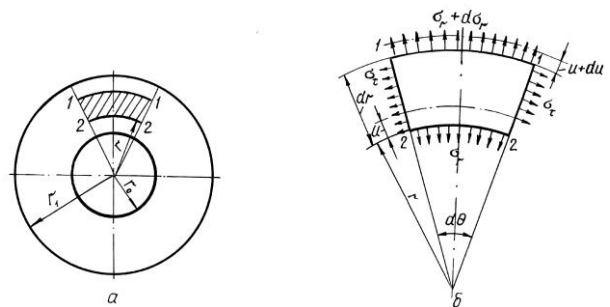
Рассмотрим случай, когда влага распределена равномерно в материале трубы. Это характерно для условий длительного транспортирования жидкости или при хранении труб во влажной атмосфере. Равновесное значение влажности W_p при различной относительной влажности воздуха ω [4] приведено в табл. 1.

Таблица 1

ω , %	W_p	ω , %	W_p

5	1,3	55	10,1
10	2,5	60	11,1
15	3,5	65	12,0
20	4,5	70	13,1
25	5,4	75	14,4
30	6,2	80	16,0
35	6,9	85	17,9
40	7,7	90	20,5
45	8,5	95	23,9
50	9,2	98	26,6

Рис. 1. Равновесие участка сечения трубы



Выделим бесконечно малый элемент трубы (рис. 1) и рассмотрим условия его равновесия. На его гранях будут действовать только нормальные напряжения. Спроектируем их на вертикальную ось симметрии. Заменим $\sin \frac{d\Theta}{2} = \Theta$, $\cos \frac{d\Theta}{2} = 1$ и, пренебрегая величинами второго порядка малости, получим

$$\sigma_r - \sigma_\tau + r \frac{d\sigma_r}{dr} = 0, \quad (1)$$

где σ_r , σ_τ – напряжения в радиальном и тангенциальном направлениях;
 r – радиус.

Второе уравнение найдем из условия совместности тангенциальных и радиальных деформаций. Перемещения точек внутренней дуги элемента обозначим через u , внешней дуги – $u + du$. Толщина элемента до деформации равняется dr , после деформации – $dr + du$.

Отсюда относительная деформация в радиальном направлении

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}, \quad (2)$$

относительная деформация в тангенциальном направлении

$$\varepsilon_\tau = \frac{u}{r}. \quad (3)$$

Дифференцируя выражение (3) и сравнивая с (2), имеем

$$\frac{d\varepsilon_\tau}{dr} = \frac{1}{r}(\varepsilon_r - \varepsilon_\tau). \quad (4)$$

Связь между напряжениями и деформациями с учетом разбухания древесины представим в виде

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_r &= \chi_1 + \frac{1}{E_1} \sigma_r - \frac{\mu_{12}}{E_1} \sigma_\tau; \\ \varepsilon_\tau &= \chi_2 + \frac{1}{E_2} \sigma_r - \frac{\mu_{21}}{E_2} \sigma_r, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где E_1 , μ_{12} , χ_1 и E_2 , μ_{21} , χ_2 – модули упругости, коэффициенты Пуассона и относительные деформации разбухания соответственно в радиальном и тангенциальном направлениях.

Решая совместно (1), (4) и (5) и учитывая, что для ортотропного (цилиндрически-анизотропного) материала $E_1\mu_{21} = E_2\mu_{12}$, получаем разрешающее уравнение задачи:

$$r^2 \frac{d^2 \sigma_r}{dr^2} + 3r \frac{d\sigma_r}{dr} + (1 - K^2) \sigma_r = E_2(\chi_1 - \chi_2), \quad (6)$$

$$\text{где } K^2 = E_2/E_1. \quad (7)$$

Тогда решение уравнения (6) будет иметь следующий вид:

$$\sigma_r = C_1 r^{1+K} + C_2 r^{-1-K} + \frac{E_2(\chi_1 - \chi_2)}{1 - K^2}, \quad (8)$$

где C_1 и C_2 – произвольные постоянные.

Если труба не нагружена ни внешним, ни внутренним давлением, то на ее поверхностях радиальные напряжения равны нулю:

$$\sigma_r = 0 \text{ при } r = r_1 \text{ и } r = r_0.$$

Подставляя эти условия в (8), получаем систему уравнений для определения C_1 и C_2 :

$$\left. \begin{aligned} C_1 r_1^{-1+K} + C_2 r_1^{-1-K} &= -\frac{E_2(\chi_1 - \chi_2)}{1 - K^2}; \\ C_1 r_0^{-1+K} + C_2 r_0^{-1-K} &= -\frac{E_2(\chi_1 - \chi_2)}{1 - K^2}. \end{aligned} \right\}$$

Отсюда

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= -\frac{E_2(\chi_1 - \chi_2)}{1 - K^2} \cdot \frac{1 - \rho^{-1-K}}{(1 - \gamma^{-2K}) r_0^{-1+K}}; \\ C_2 &= -\frac{E_2(\chi_1 - \chi_2)}{1 - K^2} \cdot \frac{1 - \rho^{-1+K}}{(1 - \gamma^{-2K}) r_0^{-1+K}}, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где $\rho = r/r_0$;

$\gamma = r_0/r$.

Подставим полученные выражения для C_1 и C_2 в (8):

$$\sigma_r = \frac{E_2(\chi_1 - \chi_2)}{1 - K^2} [1 - A(\gamma)\rho^{-1+K} - B(\gamma)\rho^{-1-K}], \quad (10)$$

$$\text{где } A(\gamma) = \frac{1 - \gamma^{-1-K}}{1 - \gamma^{2K}};$$

$$B(\gamma) = \frac{1 - \gamma^{-1+K}}{1 - \gamma^{2K}} = 1 - A(\gamma).$$

Используя (1), получим формулу для определения окружных напряжений:

$$\sigma_{\tau} = \frac{E_2(\chi_1 - \chi_2)}{1 - K^2} [1 - KA(\gamma)\rho^{-1+K} - KB(\gamma)\rho^{-1-K}]. \quad (11)$$

Численные значения величин χ_1 и χ_2 могут быть с достаточной точностью определены по имеющимся в литературе данным для степени усушки фанеры и древесины березы [2].

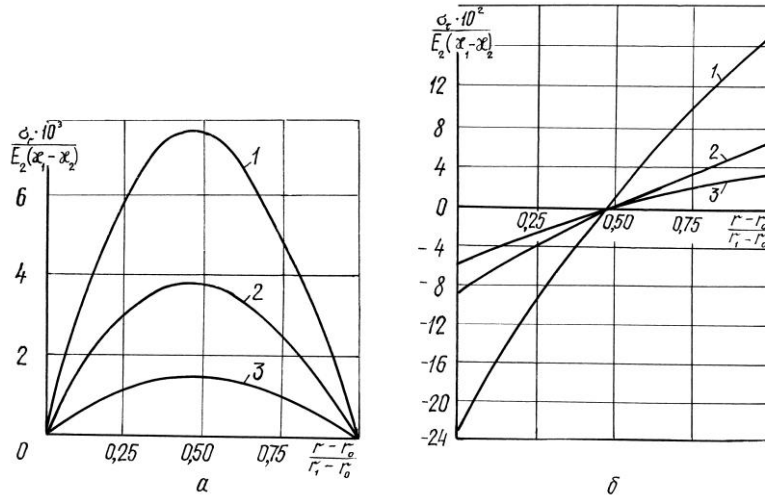
Таблица 2

γ	$\frac{r - r_0}{r_1 - r_0}$	$\sigma_r = \frac{\sigma_r \cdot 10^3}{E_2(\chi_1 - \chi_2)}$	$\sigma_{\tau} = \frac{\sigma_{\tau} \cdot 10^3}{E_2(\chi_1 - \chi_2)}$
0,83	0,00	0,00	-92,9
	0,25	-3,19	-42,2
	0,50	-3,92	2,5
	0,75	-2,50	42,6
	1,00	0,00	74,8
0,87	0,00	0,00	-43,8
	0,25	-1,15	-20,4
	0,50	-1,44	0,9
	0,75	-1,03	20,9
0,91	1,00	0,00	39,9
	0,00	0,00	-29,8
	0,25	0,53	-14,2
	0,50	0,67	0,4
	0,75	0,49	+14,5
	1,00	0,00	28,1

Разбухание происходит только в процессе поглощения влаги. Повышение влажности выше предела гигроскопичности $W_{п.г} = 30\%$ не приводит к дальнейшему разбуханию. Интересующие нас значения разбухания фанеры по толщине могут быть получены по данным [3] для отечественных пород древесины: усушка в тангенциальном направлении составляет 6 ... 10 %, в радиальном – 3 ... 5 %, вдоль волокна – 0,1 ... 0,3 %, полная объемная усушка – около 15 %.

Для вычисления усадки клееной конструкции используем предлагаемое в [1] правило смесей:

$$\chi = \frac{\sum \chi_i E_i t_i}{\sum E_i t_i},$$



где χ_i , E_i , t_i – соответственно усадка, модуль упругости и толщина i -го слоя.

При равномерном распределении влаги были рассчитаны напряжения в стенках фанерных труб, отнесенные к величине $E_2(\chi_1, \chi_2)$ для ряда значений $\gamma = r_0/r_1$ при отношении модулей упругости в радиальном и окружном направлениях (табл. 2).

Радиальные напряжения достигают максимума вблизи срединной поверхности трубы, окружные – на внутренней поверхности; чуть ниже они на наружной поверхности (рис. 2).

Приводимые в литературе данные об упругих характеристиках древесины березы, березового шпона и фанеры весьма разноречивы, поэтому для оценки достоверности полученных результатов необходимо выяснить их чувствительность к изменению параметра K . Расчеты,

Рис. 2. Напряжения в стенке трубы из фанеры при равномерном увлажнении ($E_1/E_2 = 0,065$): 1 – $\gamma = 0,79$; 2 – 0,83; 3 – 0,87; a – радиальное направление; b – окружное

выполненные с помощью ЭВМ, показывают, что эта зависимость чрезвычайно слабая, и возможные ошибки в определении K приводят к несущественным погрешностям.

Разрушение при сжатии может быть реализовано в относительно толстых слоях шпона, когда перпендикулярно направленные волокна не оказывают поддерживающего действия. Если напряжения отсутствуют во влажном состоянии (например вследствие их релаксации), то при полном высушивании радиальные напряжения, оставаясь такими же по модулю, изменяют знак. Это может оказаться еще более опасным, поскольку прочность при растяжении практически не зависит от толщины шпона. С другой стороны, неравномерное распределение влаги по толщине стенки более опасно, чем полное влагонасыщение.

Распространение влаги поперек волокон при влажности ниже предела гигроскопичности в первом приближении подчиняется обычному уравнению диффузии. Для радиального потока массопереноса оно будет иметь следующий вид [1]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial r} \right), \quad (12)$$

где ω – концентрация влаги;

a^2 – коэффициент влагопроводности.

Для древесины березы в направлении поперек волокон этот коэффициент равен $(3 \dots 4) \cdot 10^{-10}$ м²/с, что обеспечивает достаточно быстрое (за несколько часов) достижение равновесного состояния для конструкций толщиной примерно 10 мм.

При переменном по толщине поле концентрации влаги местное (в точке) разбухание можно принять пропорциональным условной концентрации влаги:

$$\chi_i = \beta_i (\omega - \omega_0); \quad 0 < \omega < \omega_{п.г.}, \quad (13a)$$

где β_i – эмпирический коэффициент;

ω_0 – влажность в исходном состоянии, $\omega_0 < \omega_{п.г.}$

При усушке от начальной влажности ($\omega_0 > \omega_{п.г.}$)

$$\chi_i = \beta_i (\omega - \omega_{п.г.}). \quad (13б)$$

В этом случае в рассмотренном ранее элементе сечения будет действовать фиктивная объемная сила $\beta_\Theta E_\Theta r \frac{du}{dr}$, и уравнение (б) примет вид

$$r^2 \frac{d^2 \sigma_r}{dr^2} + 3r \frac{d\sigma_r}{dr} + (1 - K^2) \sigma_r = \beta_\Theta E_\Theta r \frac{d\omega}{dr} (\beta_0 - \beta_r) E_\Theta \omega. \quad (14)$$

Здесь β_Θ – эмпирический коэффициент.

Общее решение этого уравнения

$$\sigma_r = C_1 r^{-1+K} + C_2 r^{-1-K} + \frac{1}{2K} \left[\frac{r^{-1+K}}{1-K} \int F(\omega, r) r^{-K} dr - \frac{r^{-1-K}}{1+K} \int F(\omega, r) r^{-K} dr \right], \quad (15)$$

где $F(\omega, r)$ – правая часть уравнения (14).

Рассмотрим нестационарный случай – контакт с жидкостью на внешней поверхности.

При $r_1 = r_2$ имеем $\omega = \omega_{п.г.}$; при $r = r_1 \left(\frac{\partial \omega}{\partial r} \right) = 0$ имеем $\omega = \omega_0$

(при $t = 0$). (Если отсчитывать влажность от исходного состояния, то можно положить $\omega_0 = 0$).

Тогда

$$\omega = \omega_{п.г.} \left\{ \frac{\ln \rho}{\ln \gamma} - \pi \sum_{n=1}^{\infty} e^{-a^2 \alpha_n^2 t} \frac{I_0(r_1 \alpha_n) I_0(r_0 \alpha_n)}{I_0^2(r_0 \alpha_n) - I_0^2(r_1 \alpha_n)} [I_0(r \alpha_n) \gamma_0(r_0 \alpha_n) + \gamma_0(r \alpha_n) I_0(r \alpha_n)] \right\},$$

где α_n – корни уравнения $I_0(r_0 \alpha) \gamma(r_0 \alpha) - \gamma_0(r_0 \alpha) I_0(r_1 \alpha) = 0$;

n – натуральное число;

I_0, γ_0 – символы функций Бесселя и Неймана нулевого порядка.

Для различных моментов времени выражение (16) может быть аппроксимировано параболами вида

$$\omega = \omega_{\text{п.г}} \left[1 - \left(\frac{r_1 - r}{r_1 - r_0} \right)^l \right],$$

где l – уменьшается с течением времени.

Это позволяет получить решение в замкнутом виде при $l = 2$ и $\beta_2 = 0$:

$$\sigma_r = \beta_1 E_2 \frac{\omega_{\text{п.г}}}{1 - \gamma^2} \left[\Pi_1 \rho^{-1+K} + \Pi_2 \rho^{-1-K} - \frac{\gamma^2 \rho^2}{9-K} + \frac{2\gamma\rho}{4-K} - \frac{2\gamma - \gamma^2}{1-K} \right];$$

$$\sigma_\theta = \beta_1 E_2 \frac{\omega_{\text{п.г}}}{1 - \gamma^2} \left[\Pi_1 K \rho^{-1+K} + \Pi_2 K \rho^{-1-K} - \frac{3\gamma^2 \rho^2}{9-K} + \frac{3\gamma\rho}{4-K} - \frac{2\gamma - \gamma^2}{1-K} \right],$$

где β_1, β_2 – эмпирические коэффициенты.

Π_1 и Π_2 – определяются из решения системы

$$\left. \begin{aligned} \Pi_1 + \Pi_2 &= \frac{\gamma^2}{9-K} - \frac{2\gamma}{4-K} + \frac{2\gamma - \gamma^2}{1-K}; \\ \Pi_1 \gamma^{1-K} + \Pi_2 \gamma^{1+K} &= \frac{1}{K} \left(\frac{1}{9-K} - \frac{2}{4-K} + \frac{2\gamma - \gamma^2}{1-K} \right) \end{aligned} \right\}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыков А.В. Теплообмен. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
2. А.А. Вислов и др. Справочник по производству фанеры. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 932 с.
3. Перелыгин Л.М. Древесиноведение. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 320с.
4. Справочное руководство по древесине / Пер. с англ. Я.П. Горелика, Т. З. Михайловой. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 544 с.

С.-Петербургская лесотехническая академия

Поступила 23.03. 98

V.V. Sergeevichev

Analysis of Veneer Pipe Tension

The problem of walls' tension for veneer pipes is solved under the equal distribution of moisture along their thickness.

УДК 674.093

А.Е. Алексеев, О.И. Бедердинова

Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета, академик Академии проблем качества, чл.-корреспондент Метрологической академии. Имеет более 70 печатных работ в области лесопиления.



Бедердинова Оксана Ивановна родилась в 1968 г., окончила в 1991 г. Ленинградский технологический институт им. Ленсовета, старший преподаватель кафедры информатики и прикладной математики Севмашвуза. Имеет 9 печатных работ в области лесопиления.



ХАРАКТЕРИСТИКА ВХОДНОГО ПОТОКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Предложена математическая модель количественного распределения необрезных досок, поступающих на обрезной станок, от длины и диаметра бревна для всех поставов при распиловке хвойных пород в потоках на базе лесопильных рам.

пиломатериалы, характеристика, поток пиломатериалов, анализ.

Несоответствие цикловой производительности (асинхронность) лесопильных рам и обрезных станков и отсутствие необходимых запасов между ними приводит к завалам досок и горбылей. Это заставляет снижать посылку у рам или останавливать их на время разборки завалов. Только по этой причине внутрисменные простои бревнопильных линий, а следовательно, и лесопильных цехов и предприятий доходят до 25 % от всех видов простоев при значительных потерях (до 2 %) выхода пилопродукции [4].

Цель статьи – построение формализованного описания параметров потока пиломатериалов.

С хорошей достоверностью эти запасы могут быть определены при учете факторов, регламентирующих колебания интенсивности поступления бревен и пиломатериалов к линиям обрезки от лесопильных рам 1-го и 2-го ряда и линиям сортировки от участка обрезки, а также режимов работы оборудования на этих линиях и др.

Целесообразно определить статистические параметры распределения необрезных досок исходя из предположения нерегулярной интенсивности поступления пиломатериалов к обрезным станкам.

Статистическая характеристика потока необрезных досок.

На основании анализа используемых поставок [1], предназначенных для распиловки бревен диаметром 16 ... 32 см в вершинном торце брусоразвальным осевым способом с выпиловкой одного бруса, было отобрано 57 поставок. Получены распределения необрезных досок по количеству и длине. Поставы предусматривали одновременную выпиловку досок двух толщин (22 см – тонкие; 44, 50, 63, 75 см – толстые), что соответствует требованиям нормативных документов производства экспортных пиломатериалов [2].

Продолжительность t'_i , с, продольного пиления бревна i -го диаметра на лесопильной раме без учета продолжительности межторцовых разрывов [3] находят по формуле

$$t'_i = \frac{60000l_i}{\Delta i n K_x}, \quad (1)$$

где l_i – длина бревна i -го диаметра, м;

Δi – посылка на лесопильной раме, мм/об.;

n – частота вращения коленчатого вала лесопильной рамы, 1/мин;

K_k – коэффициент хода пильной рамки, $K_k = 1$ мм.

С учетом межторцового разрыва продолжительность раскроя бревна t'_i , с, определяют из уравнения

$$t_i = \frac{60000l_i}{\Delta i n K_x} + t_p, \quad (2)$$

где t_p – продолжительность нахождения бревна в межторцовом разрыве, с.

Число бревен K_g i -го диаметра, выпиливаемых на g -м потоке за минуту, вычисляют по формуле

$$K_g = \frac{60n\Delta i}{60000l_i + t_p n \Delta i}. \quad (3)$$

Тогда число боковых необрезных досок m_{ig} , выпиливаемых на g -м потоке за минуту при распиловке бревен i -го диаметра,

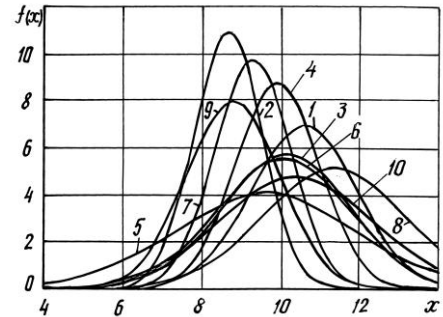
$$m_g = \frac{60z_{ig}n\Delta i}{60000l_i + t_p n \Delta i}, \quad (4)$$

где z_{ig} – число досок в g -м поставе при распиловке бревна i -го диаметра.

Далее проанализированы результаты количественного распределения необрезных досок, полученных при распиловке одного бревна каждым из поставок (где $t_p = 1,9$ с, шаг длин бревен – 0,1 м).

При статистической обработке данных генеральной совокупности определяли на IBM PC Pentium по программе Statistika 5.0 среднюю величину, дисперсию, среднее квадратическое отклонение, коэффициенты асимметрии и эксцесса. По каждому из вариационных рядов вычисляли оценки параметров гипотетического распределения и эмпирические частоты. Проверке по критерию Пирсона χ^2 при уровне значимости 0,05 подлежали гипотезы о нормальном или равномерном распределениях вариационных рядов.

Рис. 1. Функция плотности вероятностей для нормального закона распределения необрезных досок по длинам для диаметра 24 см и следующих поставок: 1 – 125×44; 125×63; 2 – 175×50; 175×75; 3 – 150×44; 4 – 175×44; 125×63; 5 – 125×50; 6 – 150×50; 7 – 150×63; 8 – 175× 63; 9 – 125×75; 10 – 150×75



Нами установлено, что распределение необрезных досок, поступающих от лесопильных рам к обрезным станкам, подчиняется нормальному закону для каждого постава и диаметров в указанном диапазоне.

На рис. 1 приведены распределения вариационных рядов функции плотностей вероятностей для диаметра бревна 24 см.

Распределения параметров математического ожидания μ и среднего квадратического отклонения σ , как случайных величин, по генеральным совокупностям для всех поставок и выделенного диапазона диаметров анализировали согласно [5]. Установлено, что вариационные ряды распределяются по логнормальному закону: $\mu = 2,227$, $\sigma = 0,184$ и $\mu = 0,333$, $\sigma = 0,307$. Иллюстрированное представление изложенного дано на рис. 2.

На основании анализа вариационных рядов установлено, что рассеивание числа досок для диаметров 20 ... 32 см и выбранных поставок имеет нормальный закон распределения. Среднее квадратическое отклонение потока досок в диапазоне длин 4,0 ... 7,0 м варьируется от 0,712 до 2,714 шт. необрезных досок в минуту. При изменении постава минимальное число досок составляет от 4,055 до 10,829 шт./мин, среднее число увеличивается на 6,420 шт./мин, максимальное варьируется в диапазоне от 8,544 до 15,050 шт./мин. Среднее квадратическое отклонение и математическое ожи-

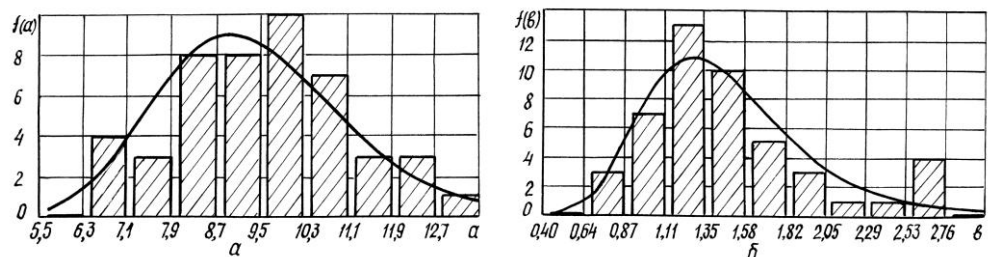


Рис. 2. Функция плотности вероятностей логнормального закона распределения и полигон частот для вариационного ряда математического ожидания (а) и среднего квадратического отклонения (б) для всех поставок

дание потока необрезных досок для выбранных характеристик распределяются по логнормальному закону. Стандартное отклонение соответственно составляет 0,48 и 1,67.

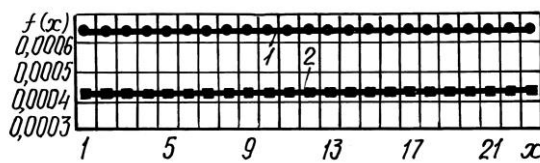
Таким образом, полученные статистические зависимости и установленные закономерности дают возможность оценить вероятные параметры интенсивности потока необрезных пиломатериалов с участка распиловки, что может быть использовано для количественного анализа и качественной оценки параметров входного потока пиломатериалов на участок обрезки.

Временная характеристика потока необрезных досок

Нами проанализировано число необрезных досок, поступающих за период 0 ... 160 мин (интервал 6 мин) с учетом выравнивающих частот для всех выбранных поставов по каждому из диаметров указанного диапазона при длине досок 4,0; 5,5; 7,0 м.

Было установлено, что распределение необрезных досок, поступающих от лесопильных рам к обрезным станкам, подчиняется равномерному закону распределения для каждого постава и диаметров 16 ... 32 см для минимальной, средней и максимальной длины досок.

Иллюстрированное представление зависимостей плотности вероятностей равномерного закона распределения необрезных досок минимальной и средней (прямая 1) и максимальной (2) длины для диаметра 24 см представлено на рис. 3. Для остальных диаметров (16 ... 32 см) получены аналогичные зависимости.



Анализ полученных результатов выявил, что число необрезных досок увеличивается с изменением продолжительности периода от 0 до 160 мин: для длины 4,0 м минимальное значение изменяется на 34,35 шт., среднее – на 927,37 шт., максимальное – на 1820,41 шт.; для длины 5,5 м соответственно на 31,27, 844,22 и 1657,5 шт.; для максимальной длины соответственно на 30,16, 814,42 и 1598,68 шт. Отметим, что при уменьшении длины досок количественный выход значений распределения увеличивается в целом на 19,44 %.

Рис. 3. Функция плотности $f(x)$ вероятностей равномерного распределения числа необрезных досок длиной 4,0 м для поставов (x – интервал)

Количественная характеристика потока необрезных досок

Для получения математического описания количественных характеристик потока необрезных досок использовали методику [5]. Поток необрезных досок в зависимости от длины – случайная величина, распределенная нормально. Он характеризуется математическим ожиданием и дисперсией для каждого диаметра. Следовательно, при математическом описании применимы методы регрессионного анализа. Число необрезных досок N , поступающих с лесопильных рам, зависит от двух факторов: диаметра бревна

d и его длины l . Их варьировали в следующих диапазонах: $d = 20 \dots 32$ см, $l = 4,0; 5,5; 7,0$ м.

Для принятого диапазона характеристик зависимость количественного выхода необрезных досок от d и l описывается следующим уравнением регрессии:

$$N(l, d) = -591,64915 + 44,74172 d - 0,807334 d^2 + (191,2119 - 14,1962 d + 0,256729 d^2) l + (-15,1013 + 1,11495 d - 0,020112 d^2) l^2. \quad (5)$$

Оценку тесноты криволинейной корреляции определяли по коэффициенту множественной корреляции, который равен 0,9988. Гипотезу об адекватности представления наблюдаемых результатов математической моделью проверяли по F-отношению с уровнем значимости p . Построенная модель высоко значима, так как значение $F(1,1) = 380,166$ достаточно большое и $p = 0,032$ близок к нулю. Результаты сравнения расчетных и фактических значений числа досок y от диаметра и длины бревна представлены в таблице.

Диаметр, см	Число досок, шт., при длине, м								
	4,0			5,5			7,0		
	y	$N(l, d)$	$y-N(l, d)$	y	$N(l, d)$	$y-N(l, d)$	y	$N(l, d)$	$y-N(l, d)$
20	6,88	6,62	0,26	9,83	9,51	0,32	8,86	8,60	0,26
22	9,64	9,62	0,02	9,57	9,98	-0,41	8,57	8,96	-0,39
24	11,19	11,81	-0,62	10,54	10,42	0,12	9,41	9,36	0,05
26	12,98	13,18	-0,20	10,07	10,83	-0,76	9,05	9,79	-0,74
28	13,77	13,74	0,03	11,92	11,21	0,71	11,13	10,25	0,88
30	14,00	13,47	0,53	12,45	11,56	0,89	9,88	10,75	-0,87
32	11,62	12,39	-0,77	11,46	11,88	-0,42	11,36	11,28	0,08

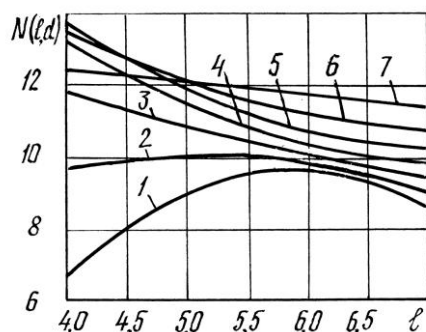
Примечания. 1. Максимальная абсолютная ошибка для каждой длины бревна выделена жирным шрифтом. 2. y – функция отклика в нормализованном виде.

Как видно из таблицы, расчетные значения хорошо согласуются с фактическими данными. Максимальная относительная ошибка модели составляет 7,14 % для диаметра бревна 30 см и длины 5,5 м.

Таким образом, полученная статистическая модель (5) адекватна исходным данным (рис. 4).

Согласно уравнению (5) из двух переменных d и l самое большое влияние на выходной параметр $y(d, l)$ оказывает длина бревна (коэффициент перед l равен 191,2119), причем это влияние имеет нелинейный характер (коэффициент перед l^2 равен 15,1013). Влияние второго фактора невелико и практически линейно, так как коэффициент перед d^2 , равный -0,807334, достаточно мал. Однако совместное влияние этого фактора с l значимо (коэффициент перед d равен 14,1962).

Рис. 4. Множество кривых распределения необрезных досок, поступающих на обрезной станок, от длины и диаметра бревна: 1 – $d = 20$ см; 2 – 22; 3 – 24; 4 – 26; 5 – 28; 6 – 30; 7 – 32 см



Результаты исследований показали, что число досок, которое требуется обрезать на обрезном станке, при изменении диаметра бревен от 20 до 32 см для длины 4,0 м имеет наибольший разброс от 6,627 до 14,702 шт./мин, для средней длины – от 8,638 до 11,732 шт./мин, наименьшее изменение (на 2,4 шт./мин) отмечено для длины 7,0 м. Наибольшее число досок поступает на участок обрезки от бревен диаметром 24 ... 32 см в диапазоне длин 4,0 ... 5,5 м. Оно уменьшается при длине 7,0 м соответственно на 10 и 5 %.

Диапазоны изменения числа досок в интервале длин 4,0 ... 7,0 м составляют: для $d = 24$ см – 11,812 ... 9,358 шт./мин; $d = 26$ см – 13,183 ... 9,788 шт./мин; $d = 28$ см – 13,737 ... 10,250 шт./мин; $d = 30$ см – 13,473 ... 10,750 шт./мин; $d = 32$ см – 12,391 ... 11,280 шт./мин. Для диаметров 20 и 22 см наибольшее число досок распределено в интервале длин 5,0 ... 6,0 м, досок минимальной и максимальной длин поступает меньше соответственно на 0,900 ... 2,900 и 0,400 ... 1,000 шт./мин.

Полученные результаты подтверждают возможность стабилизации длин досок при распиловке бревен различных характеристик и могут быть использованы для синхронизации работы бревнопильного оборудования, определения интенсивности поступления пиломатериалов к участкам обрезки, разработки требований к автоматизированной обрезке потока необрезных досок и прогнозирования выхода пилопродукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбом поставок и выходов продукции при распиловке хвойного и мягколиственного сырья. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1992. – 410 с.
2. ГОСТ 26002–83Э Пиломатериалы хвойных пород северной сортровки, поставляемые для экспорта. Технические условия. – Введ. 01.01.75. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 38 с.
3. Инструкция по расчету производственных мощностей лесопильных цехов, потоков и установок. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1978. – 84 с.
4. *Калитеевский Р.Е.* Автоматизация производственных процессов в лесопилении. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 336 с.

5. Пижурин А.А. Современные методы исследований технологических процессов в деревообработке. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – 248 с.

Архангельский государственный технический университет

Поступила 19.05.2000 г.

A.E. Alekseev, O.I. Bederdinova

Description of Sawn Wood Input Stream

The mathematical model is obtained for quantitative breakdown of unedged boards fed to the trimmer according to the length and diameter of the log for all deliveries of softwood at the sawmill.

УДК 658.512:681.32.06

Ю.Г. Павлов

Павлов Юрий Георгиевич родился в 1946 г., окончил в 1970 г. Московский авиационный институт, кандидат технических наук, доцент Московского государственного университета леса. Имеет 70 печатных работ в области принятия решений при управлении в условиях неопределенности.

**ФИГУРНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ РАСКРОЙ МАТЕРИАЛОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ**

Показана эффективность использования метода автоматизированного проектирования раскрой в условиях лазерной резки материалов на целлюлозной основе.

пиломатериалы, лазерный раскрой, размещение фигур, траектория резания.

Фигурный лазерный раскрой материалов деревообработки является перспективным технологическим направлением, требующим дальнейших научных исследований. Основные проблемы здесь состоят как в определении технологических параметров (выбор типа лазера, скорости резания, фокусировки лазерного луча и др.), так и в решении сопутствующих научно-технических задач эффективного размещения фигур на раскраиваемой плоскости и определения траектории резания.

Выбору технологических параметров посвящено значительное число исследований [1–4, 6, 7], многие вопросы могут быть решены экспериментально.

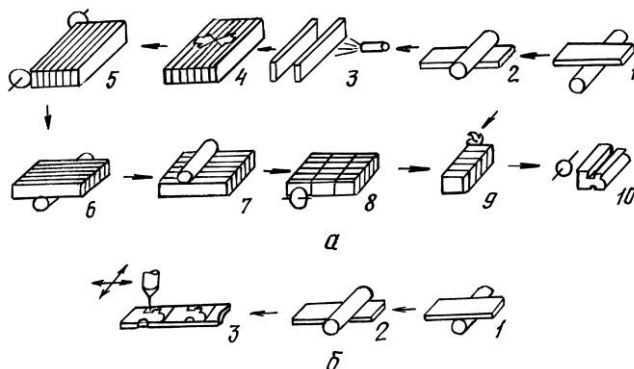


Рис. 1. Сравнение технологий изготовления деталей пианино: *a* – традиционный способ (1 – фугование пластин, 2 – рейсмусование, 3 – нанесение клея, 4 – склеивание в щит, 5 – торцевание щита, 6 – фугование щита, 7 – рейсмусование щита, 8 – распиловка щита, 9 – фрезерование, 10 – распиловка на детали); *б* – с использованием лазера (1 – фугование пластин, 2 – рейсмусование пластин, 3 – лазерный раскрой пластин)

Однако нерешенность проблем размещения лазера и трассировки луча делает невозможным эффективное распространение лазерных технологий в промышленных масштабах.

Прямое воздействие энергии на материал (например при лазерной обработке) зачастую упрощает технологический процесс, сокращает технологическое время обработки, улучшает условия труда и оказывается экономически более эффективным. В качестве иллюстрации сравним технологические процессы изготовления деталей механики пианино традиционным способом и с использованием лазера (рис. 1).

Очевидно, что традиционный технологический процесс более трудоемкий по сравнению с лазерным раскроем. В нем присутствуют операции, выполняемые со значительными затратами времени и ручного труда, например операция склейки в щит, а необходимость перехода к производству новых деталей влечет за собой разработку нового режущего инструмента.

В свою очередь лазерные комплексы характеризуются крайне низким коэффициентом использования мощности (до 10 %), дороговизной самого лазерного комплекса, проблемами корректного обслуживания, что существенно меняет соотношения между затратами при традиционной и лазерной технологиях, и вопрос может однозначно решаться только в конкретных производственно-технологических условиях.

Целью настоящего исследования является проблема эффективного размещения фигур на исходном листовом материале с минимумом отходов при лазерной обработке.

Анализ технологических особенностей лазерной резки древесных материалов показывает, что в отличие от лазерного раскроя металлов, где большие остаточные температурные деформации не позволяют размещать детали вплотную друг к другу, в деревообработке допускается касание контуров деталей. При этом необходимо обеспечить размещение деталей с максимальным коэффициентом использования раскраиваемого материала, учитывая изотропные свойства последнего и ширину реза лазерного луча. Особенностью рассматриваемой проблемной среды является целесообразность кусочно-линейной аппроксимации криволинейных плоских объектов прежде всего потому, что исполнительные устройства с ЧПУ построены по принципу линейного перемещения исполнительного инструмента.

Пусть задана прямоугольная односвязная область размещения Ω длиной D и шириной E . Задано множество \mathcal{R}'_i из N видов односвязных размещаемых геометрических объектов (ГО), каждый из которых аппроксимирован многоугольником с заданной точностью. Известны координаты вершин многоугольников $\{x_i\}_N$ и $\{y_i\}_N$. Также заданы количество B_{R_i} ГО каждого вида и технологические особенности лазерного раскроя древесных материалов. Свяжем с областью Ω неподвижную декартову систему координат, а с множеством \mathcal{R}'_i – подвижные координаты. Расположение каждого ГО в исходной области размещения характеризуется параметрами размещения $\{x_j, y_j, \Theta_j\}$. Задача размещения сводится к решению совокупности следующих соотношений:

$$\left. \begin{aligned} P(\Omega) &= (D - 2l_D + \delta)(E - 2l_E + \delta); \quad I = \sum_{i=1}^N B_{R_i}; \\ \{x_j, y_j, \Theta_j\} &= \text{var}; \quad \Theta_j \in [0, 2\pi]; \\ \bigcup_{m_1, m_2}^I (R_{m_1} \cap R_{m_2}) &= \{G\} \neq \emptyset; \\ \sum_{j \in I} k_i(h_j) q_j &= B_{R_i}; \quad q_i \neq 0; \quad j = \overline{1, J} \\ \sum_{j \in J} q_j \left(P(\Omega) - \sum_{i=1}^N S(R'_i) k_i(h_j) \right) &\rightarrow \min; \\ F \mathcal{H}\{h_j\} &\in \tilde{F}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $P(\Omega)$ – площадь области размещения;

2δ – ширина реза;

l_D, l_E – припуск на обрезку кромок области размещения;

G – множество граничных точек ГО;

$k_i(h_j)$ – количество ГО i -го вида, размещенных j -м способом;

q_j – интенсивность применения j -го способа размещения;

$S \mathcal{R}'_i$ – площадь ГО i -го вида;

$H\{h_j\}_I$ – множество различных способов размещения ГО;

\tilde{F} – множество технологических ограничений лазерного раскроя.

Не нарушая общности, рассмотрим ситуацию наилучшего расположения в прямоугольной области нового объекта R_i относительно уже размещенного ранее объекта R_j . Полагая, что R_i произвольным образом зафиксирован внутри исходной области размещения, получаем область допустимых размещений Ω_v ($\Omega_v = \Omega/R_i$) полюса O_j объекта R_j как область, ограниченную параметрами области размещения и некоторыми из сторон ГО R_i . Ограничим временно задачу отысканием локального оптимума. С этой целью уменьшим допустимую область Ω_v до Ω_0 путем учета только одной из сторон ГО R_i , относительно которой будем размещать R_j . Сторону R_i , отно-

сительно которой ведем размещение R_j , будем называть в дальнейшем определяющей прямой f_i . Очевидно, что размещаемый ГО R_j должен находиться вне определяющей прямой. Это условие обеспечивается нахождением вне f_i или на ней каждой из угловых точек $\mu = \overline{1, n}$ объекта R_j . Положение объекта R_j относительно R_i будет определяться двумя координатами полюса $O_j(x_0^j, y_0^j)$, а также углом поворота Θ_j объекта R_j относительно собственной системы координат x_j, y_j . Таким образом, для допустимой области размещения Ω_0 объекта R_j имеем

$$a(x_0^j + x_\mu'^j \cos \Theta_j - y_\mu'^j \sin \Theta_j) + b(y_0^j + x_\mu'^j \sin \Theta_j + y_\mu'^j \cos \Theta_j) + c \geq 0. \quad (2)$$

Знак неравенства в (2) (\leq или \geq) определяется как противоположный к знаку неравенства в выражении $ax_k^i + by_k^i + c \geq 0$ (где x_k^i, y_k^i – произвольная внутренняя точка объекта R_i). Кроме (2), необходимо учесть ограничения на допустимую область размещения, накладываемые параметрами исходной области размещения (D, E):

$$0 \leq x_0^j + x_\mu'^j \cos \Theta_j - y_\mu'^j \sin \Theta_j \leq D; \quad 0 \leq y_0^j + x_\mu'^j \sin \Theta_j + y_\mu'^j \cos \Theta_j \leq E; \quad \mu = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Поскольку в рамках данной проблемы мы рассматриваем размещение ГО произвольной формы в прямоугольной области, то в качестве критерия эффективности получаемых раскладок выберем максимизацию коэффициента $K_{зj} = \sum_{i=1}^j (S_i / S_{nj})_{\min}$ заполнения совокупностью размещенных объектов $R_i, i = \overline{1, j-1}$, описывающего занятую область Ω_{0j} , прямоугольника минимальной площади. Поскольку размещение объекта R_j проводили при уже размещенных объектах $R_i, i = \overline{1, j-1}$, то площадь S_{nj} является функцией координат угловых точек $(x_v, y_v) v = \overline{1, n}$ уже размещенных объектов, а также координат полюса (x_j, y_j) , и угла поворота Θ_j очередного размещаемого объекта R_j . Следовательно,

$$S_{nj}(x_v, y_v, x_j, y_j, \Theta_j) \rightarrow \min. \quad (4)$$

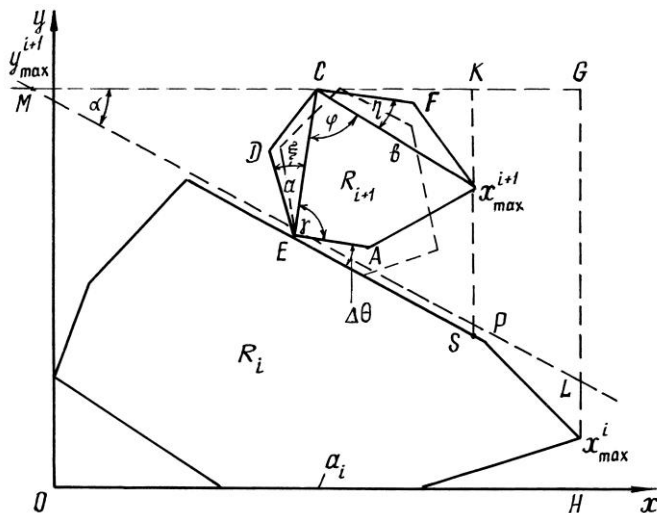


Рис. 2. Определение наилучшего расположения R_i и R_{i+1}

Поставлена задача псевдооптимального размещения ГО криволинейной формы в прямоугольной области в виде математического программирования с нелинейными ограничениями (2), (3) и неявно заданной целевой функцией (4), решение которой не представляется возможным. По существу, наша цель – уменьшить (на сколько это возможно) исходное множество взаимных расположений. Как следует из рис. 2, описывающий пару R_i, R_{i+1} прямоугольник с направляющей $a_i \in R_i$ будет иметь минимальную площадь при $y_{\max}^{i+1} + \min$ (при фиксированном x_{\max}^i). Определим условия достижения $(y_{\max}^{i+1})_{\min}$.

Варьируемый параметр $\Delta\Theta$ изменяется в пределах $0 \leq \Delta\Theta \leq \Delta\Theta_{kp}$, где $\Delta\Theta_{kp}$ соответствует повороту, при котором данная вершина многоугольника перестает быть вершиной, определяющей y_{\max}^{i+1} . На рис. 2 величина $\Delta\Theta_{kp}$ соответствует положению точки D на прямой ML или точки F на прямой MK . Так как $\alpha = \text{const}$ (фиксируется определяющей прямой), то минимум y_{\max}^{i+1} при указанных условиях соответствует минимуму $|MK| = \frac{1}{\sin \alpha} [a \sin (180 - (\gamma + \Delta\Theta))] + b \cos [180 - (\gamma + \Delta\Theta + \varphi - \alpha)]$. Однако в рассматриваемом диапазоне изменения $0 < \Delta\Theta < \Delta\Theta_{kp}$ минимума нет. Значит минимум достигается в одной из граничных точек диапазона.

Из постановки задачи следует, что одна граничная точка изменения $\Delta\Theta$ соответствует такому положению R_{i+1} , когда сторона многоугольника совпадает с определяющей, т. е. $\Delta\Theta = 0$. Вторая граничная точка изменения $\Delta\Theta$ ($\Delta\Theta_{kp}$) определяется двумя условиями: либо $\Delta\Theta_{kp}$ соответствует переходу от совпадения с определяющей прямой стороны v многоугольника R_{i+1} к совпадению стороны $v + 1$ (следующей стороны DE многоугольника на

рис. 1), либо $\Delta\Theta$ соответствует такому положению многоугольника R_{i+1} , при котором в процессе увеличения $\Delta\Theta$ одна из сторон R_{i+1} становится параллельной оси Ox ($CF \parallel Ox$ на рис. 2). В обоих случаях происходит смена вершины многоугольника, имеющей y_{\max}^{i+1} . Следовательно, $\Delta\Theta_{кр}$ определяется условием

$$\Delta\Theta_{кр} = \min \{(\pi - \xi - \gamma), (\pi - \eta - \varphi - \gamma + \alpha)\}.$$

Таким образом, наилучшее взаимное расположение ГО R_{i+1} и R_i при вращении R_{i+1} относительно опорной вершины, обеспечивающее минимум площади описывающего прямоугольника, будет в одном из двух положений: либо сторона R_{i+1} совпадает с определяющей прямой многоугольника R_i ($\Delta\Theta = 0$), либо произвольная сторона R_{i+1} параллельна оси Ox , $\Delta\Theta = \Delta\Theta_{кр}$. В вычислительном аспекте данный результат позволяет существенно упростить поиск в множестве Ω : множество возможных размещений геометрического объекта R_j в допустимой области Ω состоит из конечного числа возможных расположений многоугольника R_j , что позволяет от непрерывных переменных в (2) – (4) перейти к детерминированным переменным и рассматривать задачу для каждого такого фиксированного значения $p = \overline{1, P}$ из множества допустимых расположений. Значение p определяется однозначно параметрами размещаемых многоугольников. Применительно к (2) – (4) можно зафиксировать параметр Θ ($\Theta_j^{\omega} \in \Theta_j$; $\omega = \overline{1, 2n}$; $\Theta_j^{\omega} = \text{const}$), и тогда система условий (2), (3) представляет собой систему линейных ограничений типа неравенств, рассматриваемую при каждом значении Θ_j^{ω} . Следовательно, исходная задача об определении наилучшего размещения ГО R_i , $i = \overline{1, N}$ в прямоугольной односвязной области с параметрами (D, E) эквивалентна σ -кратному решению задачи линейного программирования специального вида с последующим выбором наилучшего решения, т. е. задача формирования допустимых размещений сведена к многошаговому итерационному процессу решения специального вида задач линейного программирования.

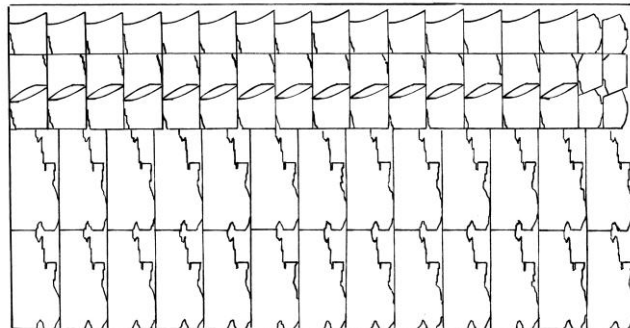


Рис. 3. Раскройная карта

На базе метода определяющей прямой синтезирован программный комплекс, который был использован при проектировании технологического процесса лазерного раскроя размещений деталей механики пианино и различных деталей из фибры. Для каждой из заготовок были получены промышленные карты раскроя как единичные, так и комбинированные с учетом конкретных технологических требований и специфики лазерного производства.

Эксперименты по раскрою проводили при мощности лазера 80 ... 120 Вт, скорости подачи 0,4 м/мин. Необходимо было обеспечивать параллельность стенок канала реза при его ширине 0,7 мм. Толщина разрезаемого материала 7, 8, и 12 мм. На рис. 3 приведен пример раскройной карты для смешанного раскроя, полученной в автоматическом режиме.

Выводы

Разработанный на основе метода определяющей прямой программный комплекс проектирования фигурных раскроев обеспечивает эффективность автоматического размещения не ниже эффективности, достигаемой на основе использования годографа вектор-функции плотного размещения, так как обеспечивает размещение деталей по [5], что позволяет получать раскройные карты фигурного раскроя на прямоугольном листе с коэффициентом полезного выхода 0,80 ... 0,85.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бамос Р.* Исследование процессов обработки древесноволокнистых и древесностружечных плит с помощью лазерных лучей // *Материалы симп. «Лигно-лазер-81»*. – Братислава, 1981. – С. 19.
2. *Григорьянц А.Г., Соколов А.А.* Лазерная обработка неметаллических материалов. – М.: Высш. шк., 1988. – 189 с.
3. *Промышленное применение лазеров / Под ред. Г. Кебнера.* – М.: Машиностроение, 1988. – 280с.
4. *Соболев Г.В., Клеба Н.П.* Применение лазерной техники в деревообрабатывающей промышленности за рубежом. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1982. – Вып. 10. – 20 с.
5. *Стоян Ю.Г., Яковлев С.В.* Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. – К.: Наук. думка, 1986. – 266 с.
6. *Laser-Schneid-Technologie fur Kleine Losgrossen // НК: Holz-und Kunststoffverarb.* – 1995. – 30, N 11. – S. 1447.
7. *Menullin C.W., Huber H.A.* Gluebound shrength of laser cut Wood // *Forest Product Journal.* – 1985. – N1. – P. 204.

Московский государственный университет леса

Поступила 5.01.99

Yu.G. Pavlov

Shaped Laser Sawing of Wood-working Materials

The efficiency of using the computer-aided design is demonstrated based on the laser sawing of materials on a pulp basis.

УДК 674.047.001

Б.Д. Руденко, М.Д. Андреев, А.В. Давыдик

Руденко Борис Дмитриевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии композиционных материалов Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 60 научных трудов в области изучения процессов создания древесных композитов и массопереноса в древесине.



Андреев Михаил Дмитриевич родился в 1946 г., окончил в 1970 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов. Имеет более 30 научных трудов в области древесиноведения и автоматизации технологических процессов в деревообработке.



Давыдик Андрей Владимирович родился в 1976 г., окончил в 1998 г. Сибирский государственный технологический университет, начальник цеха сушки ООО «Красноярский ЛДК». Имеет 2 печатные работы в области сушки древесины, комплексного выбора средств автоматизации деревообрабатывающих производств, создания сушильных камер малой мощности.



**ДИНАМИКА СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ
В КАМЕРАХ HILDEBRAND**

Установлено, что при наличии оперативной информации о средней влажности высушиваемых пиломатериалов можно качественно проводить процесс сушки в камерах Hildebrand.

пиломатериалы, сушка, динамика сушки.

Согласно ГОСТ 19773–84 «Режимы сушки в камерах периодического действия» [1], за время сушки хвойных пиломатериалов предусмотрено трехступенчатое изменение параметров сушильного агента, к ним относятся: температура t , степень насыщенности ϕ , психрометрическая разность $\Delta t = t - t_m$ (где t_m – температура смоченного термометра-психрометра).

В качестве теплоносителя используют горячую воду, которую для увлажнения воздуха распыляют с помощью специальных форсунок.

В сушильных камерах Hildebrand измеряют температуру сушильного агента и равновесную влажность древесины. Этого достаточно для информации о состоянии высушивающей среды. В принципе безразлично какие параметры измерять, так как все они связаны Id-диаграммой и диаграммой равновесной влажности древесины.

Для качественной сушки достаточно выдерживать в камере соответствующий режим. В камерах Hildebrand параметры процесса сушки устанавливают следующим образом: задают температуру по сухому термометру t_c и в качестве второго параметра – соотношение $W_t/W_p = 1,6 \dots 5,0$ (W_t и W_p – текущая и равновесная влажность древесины). Так как влажность древесины при ее сушке постоянно уменьшается, а значение W_t/W_p задано, то равновесная влажность древесины будет также постоянно меняться. По этой причине трехступенчатая выдержка параметров не представляется возможной без изменения параметров теплоносителя, используемого в камерах Hildebrand для управления процессом.

Камеры Hildebrand имеют дистанционное измерение влажности древесины. Эту информацию выводят на пост оператора. Система управления предусматривает возможность оперативного изменения равновесной влажности древесины, вплоть до распыления воды в сушильном пространстве, что позволяет резко замедлять процесс сушки древесины.

Критерием рационального проведения процесса является скорость снижения влажности. Этот показатель зависит от характеристик высушиваемого материала, толщины, влажности, породы и т.д. Продолжительность сушки измеряется десятками и сотнями часов, поэтому влияние этого параметра при визуальном наблюдении трудно выявляемо.

Ларс Мальмквист в своей работе [3] в качестве критерия качественной сушки пиломатериалов рассматривает параметр интенсивности β , который должен иметь такое значение, при котором поверхностные слои не будут высыхать слишком быстро до достижения предела гигроскопичности в начале сушки. Он приводит упрощенную формулу для расчета продолжительности сушки τ в виде

$$\tau = \frac{f}{3600} \frac{\delta_1^2}{a^1 \beta^2} \ln \frac{u_{mo}}{u_m},$$

где $f = 1/(1+\delta_1/\delta_2)$;

δ_1 – толщина материала;

δ_2 – ширина материала;

a^1 – коэффициент влагопроводности;

β – параметр интенсивности;

u_{mo} – переходная влажность;

u_m – средняя влажность древесины.

Значения параметра интенсивности в [3] приводят в предположительной форме (не давая определенных значений) и рассматривают примерные режимы для хвойных пород древесины. Сопоставление приведенных данных показало, что режимы [3] в среднем на 10 % интенсивнее российских.

Продолжительность сушки можно находить по различным методикам. Наиболее целесообразной является методика, изложенная в руководящих материалах по технологии камерной сушки древесины [2] (приложение 3). Приведенная там расчетная формула имеет вид

$$\tau = \frac{C_{\tau} S_1^2 K}{a_M^1} C A_{ц.р.} A_{\phi} \lg \frac{W_n}{W_k},$$

где τ – продолжительность сушки, ч;

C_{τ} – поправка на многомерность;

S_1 – толщина материала;

K – коэффициент, зависящий от толщины S_1 ;

a_M^1 – коэффициент влагопроводности древесины, определяемый по средней в течение процесса температуре смоченного термометра, $\text{см}^2/\text{с}$;

C – коэффициент замедления сушки в штабеле по сравнению с сушкой единичных сортиментов;

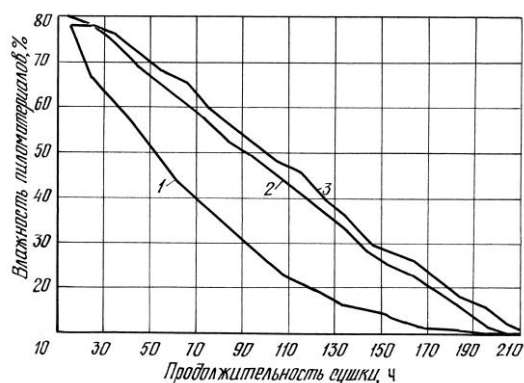
$A_{ц.р.}$ – коэффициент, учитывающий характер циркуляции (реверсивная, нереверсивная);

A_{ϕ} – коэффициент, учитывающий начальную ступень насыщенности среды ϕ_n ;

W_n, W_k – начальная и конечная влажность древесины, % [2].

Для проверки справедливости расчетов скорости снижения влажности нами была проведена сушка пиломатериалов из древесины лиственницы (толщина 25 мм, ширина от 100 до 150 мм, $W_n = 70\%$, $W_k = 10\%$) в сушильной камере Hildebrand на ООО «Красноярский ЛДК». По уравнению [2] была построена кривая снижения влажности пиломатериалов и ориентировочно заданы параметры режима сушки применительно к используемым в камере.

На рисунке показаны расчетная кривая и две экспериментальные (фактические) кривые снижения влажности. Кривая (1) получена расчетным путем по уравнению [2]. Скорость снижения влажности предопределяет качественное проведение процесса сушки, в резуль-



Динамика сушки в камере Hildebrand: 1 – расчетная кривая; 2 и 3 – кривые фактических процессов сушки I и II

тате которого неравномерность распределения влажности по объему сортамента не превысит установленных значений, т. е. перепад влажности по толщине пиломатериалов будет иметь нормативные значения. Фактические кривые 2 и 3 снижения влажности получены в результате высушивания в камере при низкой температуре.

Кривая зависимости $W(t)$ делит область диаграммы на две части – верхнюю, характеризующую качественное проведение процесса сушки, и нижнюю, характеризующую быстрое снижение влажности, что неизбежно приведет к неравномерной влажности по толщине пиломатериалов и обусловит появление внутренних напряжений в древесине, значения которых выше допустимых, определяемых категориями качества сушки. Чем интенсивнее будет снижаться влажность древесины в процессе сушки, тем большие внутренние напряжения будут иметь место в ней.

Для выравнивания влажности пиломатериалов указанного сечения их выдерживали в цехе в течение двух недель, после чего были отобраны образцы для определения показателей качества сушки пиломатериалов в соответствии с требованиями [2].

Образцы взяты из трех зон средней части сушильной камеры: нижней (1), средней (2) и верхней (3). Определены средняя влажность, среднее квадратичное отклонение влажности, перепад влажности по толщине, остаточные напряжения. Для определения каждого показателя испытывали по 5 выпиленных из досок образцов. Значения показателей качества сушки приведены в таблице.

Из таблицы видно, что для пиломатериалов, высушенных при процессе I, уровень значений условного показателя остаточных напряжений достаточно высок, более чем в три раза превышает допустимые значения для 2-й категории качества. Наличие больших внутренних напряжений предопределено высокой скоростью снижения средней влажности пиломатериалов в первые 90 ч (см. рисунок) и ее неоднородностью по толщине пиломатериалов. Что касается низких значений среднего квадратичного отклонения влажности и перепада влажности по толщине пиломатериалов, то наблюдаемое выравнивание значений получено в результате длительной

Показатели	Значения показателей для зоны сушильной камеры		
	1	2	3
Средняя конечная влажность, %	<u>10,2</u>	<u>9,3</u>	<u>8,1</u>
	10,1	9,6	8,5
Среднее квадратичное отклонение влажности, %	<u>0,9</u>	<u>0,7</u>	<u>0,8</u>
	0,9	0,8	0,7
Перепад влажности по толщине пиломатериалов, %	<u>1,1</u>	<u>0,9</u>	<u>0,8</u>
	1,2	1,0	0,9
Условный показатель остаточных напряжений, %	<u>9,4</u>	<u>9,8</u>	<u>9,1</u>
	0,9	0,8	1,0

Примечание. В числителе приведены данные для фактического процесса сушки I, в знаменателе – II.

выдержки древесины после сушки. При достаточно медленном снижении влажности (процесс II) наблюдается более качественное высушивание древесины: приведенные показатели соответствуют 1-й категории качества сушки.

Вывод

Динамика снижения влажности древесины является характеристикой, определяющей качество сушки. При наличии оперативной информации о средней влажности высушиваемых пиломатериалов можно качественно проводить процесс сушки независимо от пригодности камеры к поддержанию режимных параметров по российским стандартам. Данная методика может быть использована не только для сушки пиломатериалов в камерах Hildebrand, но и в других, имеющих оперативное измерение влажности в процессе сушки и возможность управлять ею.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 19773–84. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия.
2. Руководящие технические материалы по камерной сушке древесины. Архангельск, 1985. – 142 с.
3. Analysis of modern lumber drying. Part 1. Tekn dr Lars Malmquist. Sv Träforskningsinstitutet.

Сибирский государственный технологический университет

Поступила 23.03.2000 г.

B.D. Rudenko, M.D. Andreev, A.V. Davydik

Dynamics of Sawn Timber Drying in the Drying Chambers Hildebrand

It was stated that the process of drying in chambers Hildebrand could be carried out qualitatively if the operative information about the average humidity of dried up sawn timber is available.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.012.1

С.П. Санников, А.И. Бабин, С.С. Шашева, Д.П. Шахматов

Санников Сергей Петрович родился в 1954 г., окончил в 1988 г. Уральский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры химии древесины и технологии ЦБП Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет более 20 печатных трудов в области реологии волокнистых материалов и электронных устройств.



Бабин Анатолий Иванович родился в 1939 г., окончил в 1967 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет более 60 печатных трудов в области автоматизации технологических процессов.



УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКНИСТЫХ СУСПЕНЗИЙ

Предложена структурная схема и элементная база реализации установки для изучения реологических характеристик волокнистых суспензий.

волокнистые суспензии, реологические характеристики, устройство (установка), измерительная схема.

Для снятия реологических характеристик жидких сред в лабораторной практике широко применяют ротационный вискозиметр, с помощью которого находят зависимости между касательным напряжением сдвига τ и градиентом скорости $\dot{\gamma}$ в любой точке исследуемой жидкости ($\dot{\gamma} = f(\tau)$). В качестве измерительной пары используют систему из расположенных коаксиально и с некоторым зазором цилиндров. Градиент скорости определяют по величине заданной угловой скорости вращающегося цилиндра, а напряжение сдвига – по моменту, возникающему на вращающемся или на неподвижном цилиндре.

Известен способ и устройство [1] для получения полных реологических характеристик волокнистых систем, основанный на измерении механической реакции испытуемой среды с использованием двух коаксиально расположенных тел, между которыми помещена испытуемая дисперсная среда. Одно из тел, связанное с приводом вращения, имеет фиксированную скорость. Общая деформация дисперсной системы вызывает изменение напряжения сдвига испытуемой среды (касательное напряжение сдвига), что в последующем позволяет определять скорость относительного перемещения слоев в различных точках коаксиального зазора. Скорость деформирования дисперсной системы задают такую, при которой наступает разрушение тиксотропной волокнистой структуры (предельное напряжение). По известным формулам определяют напряжение сдвига и скорость деформации.

Устройство для исследования реологических характеристик [4] имеет недостатки, связанные с расчетом напряжения сдвига. Методика расчета по известным формулам не учитывает глубину погружения измерительного цилиндра, о чем отмечено в [2], где и предложен способ их устранения.

Установка [2] состоит из упругого электрического вала с сельсинами. Момент сопротивления M , возникающий на внутреннем цилиндре при соприкосновении с волокнистой суспензией, используют для расчета касательного напряжения между соседними слоями суспензии при заданной угловой частоте одного из цилиндрических тел:

$$\tau = \frac{M}{2\pi L (R_{в.ц} + 0,5H)^2}; \quad (1)$$

угловую частоту вращения внешнего стакана $\omega_{в.с}$ – для расчета градиента скорости:

$$\lambda = \frac{2\pi\omega_{в.с} R_{в.с}}{H}, \quad (2)$$

где L – высота погружения внутреннего цилиндра, м;

$R_{в.ц}$ – радиус внутреннего цилиндра, м;

H – коаксиальный зазор, в котором происходит взаимное перемещение слоев волокнистой суспензии, м;

$R_{в.с}$ – радиус внешнего стакана, м.

Измерительное устройство [2] основано на динамическом режиме работы индикаторной схемы включения пары бесконтактных сельсинов, один из которых соединен с вращающимся цилиндром, другой – с электродвигателем постоянного тока. В установке использованы силовые сельсины с большим моментом вращения на валу.

При отсутствии момента сопротивления на валу измерительного цилиндра сельсин-датчик и сельсин-приемник вращаются синхронно и синфазно, при этом значения роторных токов в линиях связи близки к нулю и определяются только трением подшипников сельсинов. При соприкосновении измерительного цилиндра с исследуемой средой последний испытывает момент сопротивления, возникает рассогласование, и в линии связи появляется электрический ток. Угол рассогласования не превышает 30° и зависит

от конструктивных особенностей применяемых сельсинов. Практика показала [3], что угол рассогласования должен быть как можно больше.

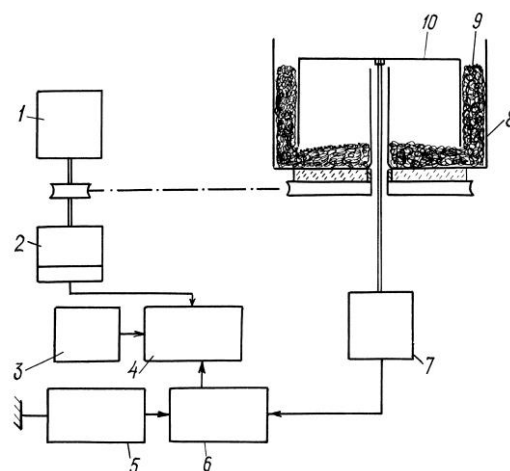
На кафедре автоматизации производственных процессов Уральской лесотехнической академии разработан ротационный вискозиметр, функциональная схема которого изображена на рисунке. Измерение момента сопротивления на вращающемся цилиндре производится бесконтактным методом с достаточной точностью.

В предлагаемом приборе учтены перечисленные выше затруднения. Отличительная особенность установки – использование прецизионных измерительных сельсинов, включенных по индикаторной схеме.

Принцип работы установки заключается в следующем. Электродвигатель 1 вращает внешний стакан 8 и таходатчик 2. Внутренний цилиндр 10 и стакан 8 расположены коаксиально. Ось, на которой крепится 10 проходит снизу через дно 8, причем конструкция стакана такова, что сальник для оси 10 не требуется, а при вращении во внутренней полости 10 создается воздушная подушка, которая исключает соприкосновение исследуемой жидкости 9 с внутренней поверхностью цилиндра 10. Частота вращения электродвигателя изменяется плавно от источника электропитания (на функциональной схеме не показан). Вращение к 10 передается посредством 9 за счет момента сопротивления, возникающего на внешней поверхности 10, ось которого механически связана с осью сельсин-датчика 7. Последний электрически соединен через трансформаторы тока 6 с сельсин-приемником 5, ось которого зафиксирована.

Сигналы от 6 и 2 поступают на измерительную схему 4, которая содержит интегральный перемножитель К525ПС2 с тремя входами X, Y, Z для внешних сигналов и тремя входами для установки сигналов смещений $X_{см}$, $Y_{см}$, $Z_{см}$. Выходной сигнал снимают со встроенного операционного усилителя, на инвертирующий вход которого через резисторы поданы сигналы: один из них равен произведению X на Y, а другой – Z. Регулировку масштаба преобразования производят с помощью делителя, установленного на входе Y. Входные сигналы перемножителя К525ПС2 изменяются в пределах $\pm 10,5$ В, погрешность умножения – не более 1 %.

Функциональная схема ротационного вискозиметра: 1 – электродвигатель; 2 – таходатчик; 3 – блок питания; 4 – измерительная схема; 5 – сельсин-приемник; 6 – трансформатор тока; 7 – сельсин-датчик; 8 – внешний стакан; 9 – исследуемая среда (волокнистая суспензия)
10 – внутренний цилиндр



Интегральный перемножитель K525ПС2 включен в режиме умножения двух входных сигналов. Входные сигналы определяются расчетными формулами (1) и (2). На один вход подается напряжение от трансформатора тока (пропорциональное моменту сопротивления на измерительном цилиндре), на другой – от источника образцового напряжения (соответствующее численному значению знаменателя формулы (1)). Аналогично производится вычисление градиента скорости по формуле (2). К выходу K525ПС2 подключен интегральный аналого-цифровой преобразователь КР572ПВ2 с цифровым дисплеем.

Электронный ключ в измерительной схеме позволяет выводить на дисплей градиент скорости в зазоре между стаканом и цилиндром, а также касательное напряжение на внешнем цилиндре.

Наличие воздушной подушки в экспериментальной установке исключает влияние нижней торцевой поверхности на результаты измерений момента сопротивления цилиндра. Прозрачность стакана дает возможность наблюдать процесс структурообразования в исследуемой волокнистой суспензии.

Предложенная измерительная схема может служить основой для создания вискозиметров и датчиков концентрации волокнистых масс. В этом случае достаточно убрать интегральный аналого-цифровой преобразователь КР572ПВ2 с цифровым дисплеем, а на выход измерительной схемы добавить либо нормирующий преобразователь тока, либо преобразователь последовательного кода для цифровых систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 864061, СССР МКИ³ G 01 N 11/14. Способ определения полных реологических кривых полидисперсных систем/ Осипов Е.Г. – Оpubл. 15.09.81, Бюл. № 34. – С. 203. 1979.

2. Бабин А.И., Терещенко А.Е. Установка для исследования реологических характеристик волокнистых масс // Целлюлоза бумага и картон / ВНИПИЭИлеспром. – 1975. – Вып. 17. – С. 10–11.

3. Санников С.П., Бабин А.И. Ротационный вискозиметр // Проблемы лесопромышленного производства, транспорта и дорожного строительства: Сб. тр. професс.-преподават. состава и асп. лесоинж. фак. / УГЛТА. – С. 64–66.

4. Терентьев О. А. Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – С. 123–131.

Уральская государственная лесотехническая академия

Поступила 04.06.98

S.P. Sannikov, A.I. Babin, S.S. Shasheva, D.P. Shakhmartov

Device for Investigating Rheological Characteristics of Fiber Suspensions

The block scheme and n-stage base of the device implementation has been suggested for studying the rheological characteristics of fiber suspensions.

УДК 543.257

А.М. Айзенштадт, К.Г. Боголицын, М.В. Богданов, О.В. Самылова

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



Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, ведущий кафедрой физической и коллоидной химии Архангельского государственного технического университета, директор Научно-исследовательского института химии и химической технологии древесины при АГТУ, академик РАИН, заслуженный деятель науки. Имеет более 200 научных трудов в области разработки физико-химических основ процессов переработки древесины.



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



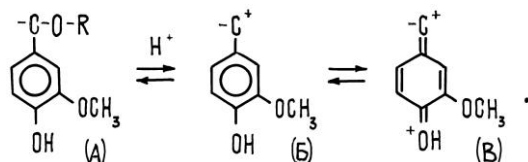
КИНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ВАНИЛИНОВОГО СПИРТА В КИСЛЫХ СРЕДАХ

Окредметрическим методом получены кинетические характеристики процесса окред-взаимодействия ванилинового спирта с окислительно-восстановительной системой на основе $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3/\text{FeSO}_4$; предложена ионмолекулярная схема данного процесса и его кинетическое уравнение.

лигнин, ванилиновый спирт, окисление, окредметрический метод.

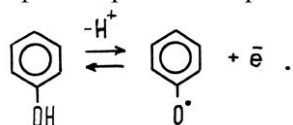
Оценивая реакционную способность лигнинных соединений при окред-взаимодействиях в кислых средах, необходимо учитывать образующиеся при этом активные промежуточные частицы. Согласно литературным данным [4, 9], независимо от того, содержит ли соединение свободный или алкилированный фенольный гидроксил, в кислой среде превращение начинается с протонирования бензильной спиртовой или эфирной группы-

ровки и последующего образования карбоний-катиона, стабилизация которого обеспечивается делокализацией заряда:



Расчеты, выполненные методом молекулярных орбиталей, показывают, что структура (B) предпочтительна для карбоний-катиона [9].

В тоже время при окислении фенольных соединений хлоридом трехвалентного железа отмечен факт образования радикалов [3] по схеме



Вместе с тем методом ЭПР доказано, что взаимодействие ароматических углеводов с металлами переменной валентности происходит через промежуточное образование катион-радикалов [8].

При исследовании механизма взаимодействия церия (IV) с родственными лигнину соединениями нами установлено [2], что механизм окисления органических субстратов этим металлом в кислой среде включает следующие стадии: первая – быстрое образование комплекса между церием (IV) и органическим субстратом; вторая – медленное разложение комплекса с образованием церия (III) и соответствующих конечных продуктов реакции. Однако высокая скорость брутто-процесса (до 15 с) затрудняет получение его кинетических характеристик с использованием окислительно-восстановительной системы (ОВС) Ce(IV)/Ce(III), поэтому для частных порядков реакции окисления по каждому из участвующих во взаимодействии компонентов в качестве медиатора нами использована система на основе сульфатов железа (III, II), обладающая меньшим значением стандартного окислительно-восстановительного потенциала.

Лигнин и его производные относятся к композиционно-неоднородным полимерам, отдельные фрагменты и группы макромолекул которых значительно различаются донорно-акцепторными свойствами. Как отмечено в работе [7], ряд важных особенностей структуры и поведения лигнина в различных химических реакциях удобно рассматривать на соединениях, моделирующих его структурные звенья. Проблема адекватности моделирования в химии лигнина отражена в [6], где доказана обоснованность такого подхода. Исходя из теории строения лигнинной макромолекулы [5], в качестве мономерного модельного соединения лигнина нами использован ванилиновый спирт.

Ранее нами установлены [10] экспериментальные условия, соблюдение которых позволяет получить ОВС на основе $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3/\text{FeSO}_4$, полностью

удовлетворяющую свойствам медиатора. Для расчета кинетических характеристик реакции окисления ванилинового спирта использовали следующую методику эксперимента. В стеклянную термостатированную при $(25,0 \pm 0,1)$ °С реакционную ячейку с опущенными в нее платиновым ЭПВ-1 и хлорсеребряным электродами (контакт электрода сравнения с реакционной смесью осуществляли через агар-агаровый ключ, заполненный насыщенным раствором KCl), подключенными к иономеру И-130, помещали 100 мл свежеприготовленной ОВС $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3/\text{FeSO}_4$ и включали магнитную мешалку. Фиксировали начальное значение потенциала ОВС, после чего в ячейку добавляли 1 мл раствора модельного соединения и вновь отмечали изменение потенциала во времени до установления равновесного значения (момент установления постоянного потенциала реакционной смеси). Далее по полученным данным рассчитывали концентрацию окислителя в различные моменты времени.

Для исследований использовали ОВС со следующими характеристиками: концентрация $[\text{Ox}]_0 = 1 \cdot 10^{-2}, 5 \cdot 10^{-3}, 1 \cdot 10^{-3}, 5 \cdot 10^{-4}$ моль/л; соотношение $[\text{Ox}]:[\text{Red}] = 100:1, 50:1$; растворитель – H_2SO_4 концентрацией 0,01; 0,20 и 1,00 моль/л. Концентрация ванилинового спирта в реакционной ячейке – $2 \cdot 10^{-2}, 1 \cdot 10^{-2}, 5 \cdot 10^{-3}, 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Растворы ванилинового спирта готовили путем растворения соответствующей навески препарата в минимальном количестве этанола (3 ... 5 мл), до необходимого объема раствор разбавляли дистиллированной водой.

По методу Вант-Гоффа были определены начальные скорости реакции окисления. С этой целью проведена аппроксимация зависимостей $[\text{Ox}]_\tau = f(\tau)$ различными полиномами. Наилучшая корреляция получена при использовании уравнения вида $[\text{Ox}]_\tau = (a + b\tau)/(1 + c\tau + m\tau^2)$. Путем дифференцирования данного уравнения рассчитана начальная скорость реакции $d[\text{Ox}]_\tau/d\tau = W_0$.

Для определения частных порядков реакции по компонентам (окислителю $[\text{Ox}]$, восстановителю $[\text{Red}]$, органическому веществу $[\text{Org}]$, $[\text{H}^+]$) использовали зависимости начальных скоростей окисления от концентрации соответствующего компонента (концентрации других компонентов, участвующих в реакции, являлись постоянными). Для всех серий эксперимента данные зависимости характеризуются линейными уравнениями вида

$$\ln W_0 = a + n \ln C, \quad (1)$$

где n – частный порядок реакции по соответствующему компоненту;

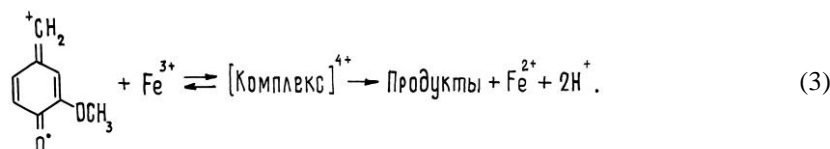
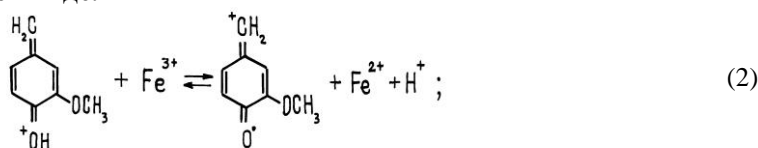
C – концентрация компонента.

Результаты математической обработки зависимости (1) для различных серий эксперимента представлены в таблице.

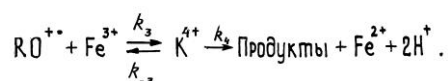
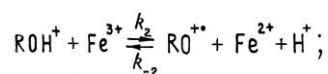
Компоненты	Уравнение	Коэффициент корреляции	Частный порядок
------------	-----------	------------------------	-----------------

[Opr]	$\ln W_0 = (0,99 \pm 0,08) \ln[\text{Opr}] - (6,9 \pm 0,8)$	0,95	1
[Ox]	$\ln W_0 = (2,13 \pm 0,04) \ln[\text{Ox}] + (3,9 \pm 0,3)$	0,96	2
[Red]	$\ln W_0 = -(0,77 \pm 0,05) \ln[\text{Red}] + (19,2 \pm 0,7)$	0,97	-1
[H ⁺]	$\ln W_0 = -(0,99 \pm 0,08) \ln[\text{H}^+] + (14,4 \pm 0,5)$	0,97	-1

Учитывая полученные данные, а также результаты исследований [2–4, 8–10], предполагаемую ион-молекулярную схему взаимодействия ванилинового спирта с ОВС на основе сульфатов железа (III, II) можно представить в следующем виде:



Для составления общего кинетического уравнения схему реакций (2), (3) запишем в виде.



В данной схеме мы не учитываем реакцию взаимодействия ванилинового спирта со средой, так как считаем, что состояние равновесия в этом случае достигается практически мгновенно и смещено в сторону образования карбоний-катиона RON^+ ($\text{p}K_{\text{H}} = 9,84$) [1].

Запишем в общем виде кинетическое уравнение для процесса окисления ванилинового спирта:

$$-\frac{d[\text{Fe}^{3+}]}{d\tau} = \frac{2k_2k_3k_4[\text{RON}^+][\text{Fe}^{3+}]^2}{k_{-2}(k_{-3} + k_4)[\text{Fe}^{2+}][\text{H}^+]} .$$

Если обозначить $\frac{2k_2k_3k_4}{k_{-2}(k_{-3} + k_4)} = k_{\text{obs}}$, то $-\frac{d[\text{Fe}^{3+}]}{d\tau} = k_{\text{obs}} \frac{[\text{RON}^+][\text{Fe}^{3+}]^2}{[\text{Fe}^{2+}][\text{H}^+]}$,

тогда функциональная зависимость $-\frac{d[\text{Fe}^{3+}]}{d\tau} = f \frac{[\text{RON}^+][\text{Fe}^{3+}]^2}{[\text{Fe}^{2+}][\text{H}^+]}$ имеет ли-

нейный характер, причем тангенс угла наклона данной зависимости равен k_{obs} . Таким образом, критерием корректности предложенной схемы превращений может служить постоянство значений k_{obs} для различных серий эксперимента.

Нами проведены расчеты для пяти различных серий: 1 – $[\text{Org}]_0 = 2 \cdot 10^{-2}$ моль/л, $[\text{Ox}]_0 = 10^{-3}$ моль/л, $[\text{Ox}] : [\text{Red}] = 100 : 1$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2 \cdot 10^{-2}$ моль/л; 2 – $[\text{Org}]_0 = 1 \cdot 10^{-2}$ моль/л, $[\text{Ox}]_0 = 10^{-3}$ моль/л, $[\text{Ox}] : [\text{Red}] = 100 : 1$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2 \cdot 10^{-2}$ моль/л; 3 – $[\text{Org}]_0 = 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $[\text{Ox}]_0 = 10^{-3}$ моль/л, $[\text{Ox}] : [\text{Red}] = 100 : 1$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2 \cdot 10^{-2}$ моль/л; 4 – $[\text{Org}]_0 = 1 \cdot 10^{-2}$ моль/л, $[\text{Ox}]_0 = 10^{-3}$ моль/л, $[\text{Ox}] : [\text{Red}] = 100 : 1$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2 \cdot 10^{-2}$ моль/л; 5 – $[\text{Org}]_0 = 2 \cdot 10^{-2}$ моль/л, $[\text{Ox}]_0 = 10^{-2}$ моль/л, $[\text{Ox}] : [\text{Red}] = 100 : 1$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

Полученные результаты показали, что параметр k_{obs} для различных серий эксперимента имеет постоянное значение, равное $(2,5 \pm 0,7) \cdot 10^{-4}$, что подтверждает корректность предлагаемой схемы превращений.

Выводы

1. Определены частные порядки реакции n окисления ванилинового спирта окислительно-восстановительной системой на основе сульфатов железа (III, II): $n_{\text{Ox}} = 2$, $n_{\text{Red}} = -1$, $n_{\text{орг}} = 1$ и $n_{\text{H}^+} = -1$.
2. На основании полученного кинетического описания процесса предложена ион-молекулярная схема его реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боголицын К.Г., Линдберг Й. Оценка ОН-кислотности модельных соединений структурного звена лигнина методом производной УФ-спектроскопии // Химия древесины. – 1986. – № 4. – С. 56–60.
2. Бровко О.С., Боголицын К.Г., Айзенштадт А.М. Механизм процесса окисления модельных соединений структурного звена лигнина серноокислым церием (IV) // Лесн. журн. – 1993. – № 3. – С. 161–165. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Гауптман З., Грефе Ю., Ремане Х. Органическая химия / Пер. с нем.; Под ред. В.М. Потапова. – М.: Химия, 1979. – 832 с.
4. Зарубин М.Я., Кутневич А.М. Карбониевые ионы из модельных соединений и лигнина // Лесн. журн. – 1974. – № 1. – С. 99–105. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Сарканен К.В., Людвиг К.Х. Лигнины (структура, свойства и реакции) / Пер. с англ. А.Б.Оболенской. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 630 с.
6. Шевченко С.М. Еще раз о моделировании лигнина // Химия древесины. – 1987. – № 1. – С. 107–109.
7. Шевченко С.М. Электронное строение, конформации и реакционная способность структурных единиц лигнина / Автореф. дис ... док. хим. наук. – СПб, 1992. – 46 с.
8. Шилов А.Е., Штейман Т.Б. Гомогенно-каталитическое окисление углеводов // Кинетика и катализ. – 1973. – Т. XIV, вып. 1. – С. 149–163.
9. Шорыгина Н.Н., Резников В.М., Елкин В.В. Реакционная способность лигнина. – М.: Наука, 1976. – 368 с.
10. Aizenshtadt A.M., Bogolitsyn K.G., Bogdanov M.V. The aqueous solution of iron sulphates (II) and (III) // VII International Conference «The Problems of Solvation and Complex Formation in Solutions». – Ivanovo, 1998. – P. 199–200.

Архангельский государственный технический университет

Поступила 13.01. 99

A.M. Aizenshtadt, K.G. Bogolitsyn, M.V. Bogdanov, O.V. Samylova

**Kinetic Characteristic of the Oxidation Process
of Vanillic Alcohol in Acid Media**

By means of oxmedimetric method the kinetic characteristics of the oxmedia – interaction of vanillic alcohol with oxidation-reduction system were obtained based on $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3/\text{FeSO}_4$. Ionic-molecular layout of the given process and its kinetic equation are suggested.

УДК 630*813.11

Ю.Г. Хабаров, Л.В. Герасимова

Хабаров Юрий Германович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический университет, кандидат химических наук, профессор кафедры технологии ЦБП Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных трудов в области химической переработки древесины.



**МОДИФИКАЦИЯ ЛИГНИНОВ
ПУТЕМ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО РАДИКАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ.
4. ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ РАДИКАЛЬНОЕ СОЧЕТАНИЕ
ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ ОДНОЭЛЕКТРОННОГО ОКИСЛЕНИЯ**

Показано, что наиболее активными в реакции окислительного радикального сочетания являются фенолы, в структуре которых имеются сильные электронодонорные группы; фенолы с электрооакцепторными группами в реакцию вступают с трудом.

лигнин, модификация, фенольные соединения, окислительное радикальное сочетание, одноэлектронное окисление.

Данная статья – продолжение работы по изучению модификации технических лигнинов с помощью радикального окислительного сочетания. Ранее* нами с помощью потенциометрического титрования было исследовано поведение фенольных соединений в условиях реакции сочетания и показано, что характер кривых титрования изменяется в зависимости от строения фенола. Исследование свойств продуктов радикального окислительного сочетания является предметом настоящей статьи.

Методическая часть

Продукты радикального окислительного сочетания были синтезированы из фенола, гваякола, *o*-нитрофенола. Окислителем служил водный раствор феррицианида калия (ФЦК).

При получении образцов использовали быстрое и медленное окисление. Навески веществ (1г фенола и 2 г гидроксида натрия) растворяли в 70 мл дистиллированной воды, перемешивали на магнитной мешалке и далее при быстром окислении в щелочной раствор фенольного соединения добавляли раствор феррицианида калия (9 г ФЦК в 40 мл дистиллированной

* Хабаров Ю.Г., Герасимова Л.В. Модификация лигнинов путем окислительного радикального сочетания. 3. Поведение фенольных соединений в условиях потенциометрического титрования феррицианидом калия //Лесн. журн. – 2000. – № 1. – С. 110–115. – (Изв. высш. учеб. заведений).

воды), перемешивали и сразу же подкисляли кислотой; при медленном окислении в щелочной раствор фенольного соединения дробно в течение 2 ч вводили раствор ФЦК, а затем подкисляли 5 н. серной кислотой до pH 2 ... 3. Расход окислителя для всех фенолов был постоянным (3 моля на 1 моль фенольного соединения). Он был выбран по данным потенциометрического титрования гваякола.

При подкислении реакционной среды образования осадка не наблюдалось, поэтому для выделения продукта реакции добавляли хлороформ; осадок отделяли фильтрованием и промывали его 0,5 %-й серной кислотой. После этого реакционную смесь вместе с промывной водой трижды экстрагировали хлороформом. Экстракты объединяли, промывали водой, сушили безводным Na_2SO_4 и упаривали. Осадки сушили на воздухе до постоянной массы. В результате этого были получены два продукта – растворимый и нерастворимый.

Результаты исследований

Для характеристики свойств полученных продуктов использовали высокоэффективную жидкостную хроматографию и УФ-спектроскопию. Растворителем служил диметилформамид с добавкой 5 % ледяной уксусной кислоты и 1 % хлорида лития.

При окислении фенола (быстром и медленном) выход нерастворимого продукта составил 34 ... 37 %. Общий выход продуктов быстрого и медленного окисления для фенола составил 39 ... 43 %, что, по-видимому, связано с их неполным извлечением хлороформом. Максимальный выход (71 %) нерастворимого продукта из гваякола отмечен при медленном окислении, 24 % – при быстром. Общий выход продуктов при быстром и медленном окислении гваякола составил 76 ... 83 %.

Из *o*-нитрофенола вообще не удалось получить нерастворимый продукт. Примерно одинаков выход растворимых продуктов быстрого и медленного окисления *o*-нитрофенола.

Важной характеристикой полученных продуктов является молекулярная масса. Для ее оценки были записаны хроматограммы (рис. 1–3) растворов как фенолов, так и продуктов их окисления. Время выхода максимумов на хроматограммах приведено в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика продуктов окисления фенольных соединений

Образец	Выход продукта, %	Время выхода максимума на хроматограмме, с
Фенол	-	947
Фенол-полимер:		
а) осадок	<u>34</u>	<u>842</u>
	37	820
б) экстракт	<u>5</u>	<u>900</u>
	6	967

Гваякол	-	967
Гваякол-полимер:		
а) осадок	<u>24</u>	<u>786</u>
	71	693
б) экстракт	<u>52</u>	<u>778</u>
	12	855
<i>o</i> -Нитрофенол	-	956
<i>o</i> -Нитрофенол-полимер (экстракт)	<u>73</u>	<u>949</u>
	67	952

Примечания. 1. В числителе приведены данные для быстрого способа обработки, в знаменателе – для медленного. 2. Фенол, гваякол и *o*-нитрофенол здесь и далее, в табл. 2, не подвергали обработке.

Из представленных на рис. 1 хроматограмм фенола и продуктов его быстрого и медленного окисления видно, что растворимые и нерастворимые продукты выходят значительно раньше, чем фенол. Время выхода максимума на хроматограммах у нерастворимых продуктов меньше, чем у растворимых. Таким образом, в условиях реакции фенола с ФЦК происходит значительное усложнение молекул за счет увеличения их размеров. На качественном уровне можно утверждать, что молекулы нерастворимых продуктов имеют большие размеры, чем у растворимых. Эти данные не согласуются с характером кривых потенциметрического титрования фенола, который при титровании ведет себя как *o*-нитрофенола.

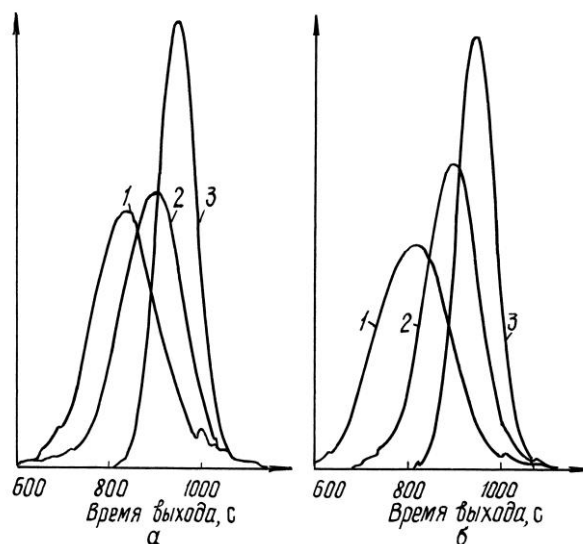


Рис. 1. Хроматограммы фенола (3), нерастворимого (1) и растворимого (2) продуктов: а – быстрое окисление, б – медленное окисление

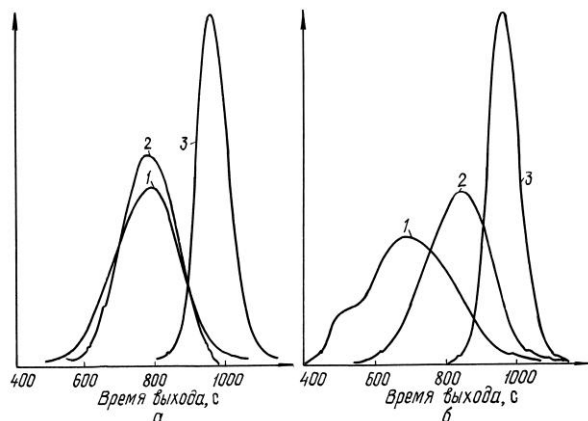


Рис. 2. Хроматограммы гваякола (3), нерастворимого (1) и растворимого (2) продуктов: а – быстрое окисление, б – медленное окисление

Особенно большие изменения отмечены на хроматограммах продуктов быстрого и медленного окисления гваякола (рис. 2). Из рис. 2 видно, что наибольшие размеры имеют молекулы нерастворимых продуктов медленного окисления гваякола. Как и у продуктов окисления фенола, размеры макромолекул у нерастворимых продуктов окисления гваякола больше, чем у растворимых. Результаты хроматографии хорошо согласуются с данными потенциометрических исследований.

Хроматограммы *o*-нитрофенола и продуктов его быстрого и медленного окисления (рис. 3) объясняют характер кривых потенциометрического титрования. Все три хроматограммы практически полностью совпали, что свидетельствует об отсутствии взаимодействия *o*-нитрофенола и ФЦК в изучаемых условиях реакции. О характере продуктов реакции можно судить и по спектрам поглощения. Для того, чтобы можно было оценить изменения в дифференциальных спектрах на количественном уровне, спектры были приведены к одной концентрации и результаты расчетов сведены в табл. 2.

Спектры поглощения *o*-нитрофенола и продуктов его быстрого и медленного окисления практически одинаковы, что хорошо согласуется с хроматографическими и потенциометрическими исследованиями. Как соединение с сильной электроакцепторной группой, *o*-нитрофенол практически не взаимодействует с ФЦК в условиях реакции.

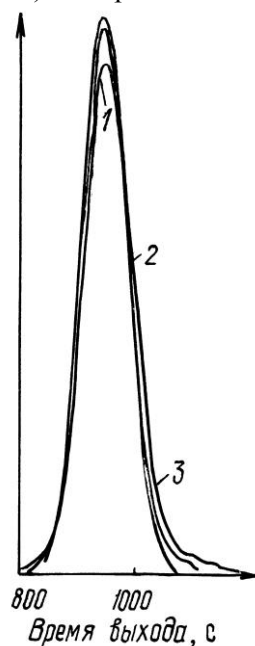


Рис. 3. Хроматограммы *o*-нитрофенола (3), нерастворимого (1) и растворимого (2) продуктов медленного окисления *o*-нитрофенола

Таблица 2

Характеристика дифференциальных УФ-спектров

Образец	Полосы поглощения							
	1		2		3		4	
	λ_{\max}	ΔD_i	λ_{\max}	ΔD_i	λ_{\max}	ΔD_i	λ_{\max}	ΔD_i
Фенол	235	2,324	290	0,710	-	-	-	-
Фенол-полимер (осадок)	<u>235</u>	<u>0,217</u>	<u>300</u>	<u>0,156</u>	<u>280</u>	<u>0,142</u>	-	-
	245	0,032	265	0,035	295	0,227	305	0,027
Гваякол	240	1,497	290	0,732				
Гваякол-полимер:								
а) осадок	<u>220</u>	<u>0,196</u>	<u>240</u>	<u>0,063</u>	<u>275</u>	<u>0,029</u>	<u>315</u>	<u>0,046</u>
	215	0,020	250	0,009	275	0,016	310	0,012
б) экстракт	220	0,199	245	0,085	270	0,037	315	0,057
	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>o</i> -Нитрофенол	230	0,863	305	0,001	-	-	-	-
<i>o</i> -Нитрофенол-полимер	<u>225</u>	<u>1,003</u>	<u>305</u>	<u>0,052</u>				
(экстракт)	225	1,003	305	0,052	-	-	-	-

На дифференциальных спектрах продуктов окисления фенола и гваякола отмечены очень большие изменения. По сравнению с исходными спектрами обнаружено некоторое смещение полос поглощения. На дифференциальных спектрах продуктов окисления появляются новые полосы поглощения. Интенсивность полос поглощения значительно снижена у продуктов медленного окисления. Спектры продуктов реакции теряют свою индивидуальность, что характерно для лигнинов, как нерегулярных полимеров фенольной природы. Уменьшение интенсивности полос поглощения на дифференциальных спектрах указывает на активное образование эфирных связей за счет свободных фенольных гидроксиллов.

Таким образом, исследования продуктов медленного (первая группа) и быстрого (вторая группа) окисления фенольных соединений показали следующее:

при одноэлектронном окислении фенольных соединений первой группы происходит значительное усложнение молекул с образованием полимерных продуктов;

соединения второй группы, содержащие сильные электроноакцепторные группы, практически не окисляются ФКЦ в исследованных условиях;

фенол хорошо окисляется ФКЦ, реакция сопровождается образованием полимерных продуктов за счет простых эфирных связей, что отмечено на дифференциальных УФ-спектрах.

Архангельский государственный технический университет

Поступила 22.09.99

Yu.G. Khabarov, L.V. Gerasimova

Lignin Modification through Oxidative Radical Combination.

4. Oxidative Radical Combination of Phenol Compounds in the Conditions of One-electron Oxidation

Phenols are shown to be the most active in the reaction of the oxidative radical combination, their structure having strong electron-donor groups. Phenols with electron-seeking groups hardly react.

УДК 676. 1.023.7

О.Ю. Бауэр, М.А. Агеев, С.П. Санников, А.Я. Агеев

Агеев Аркадий Яковлевич родился в 1934 г., окончил в 1966 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, чл.-корреспондент Уральского отделения наук о лесе АЕН, заведующий кафедрой химии древесины и технологии ЦБП Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет более 150 печатных трудов в области реологии волокнистых суспензий, теории и технологии бумагоподобных материалов.



ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАРАФИНОВОЙ ДИСПЕРСИИ

Исследованы коллоидно-химические свойства устойчивой высокодисперсной парафиновой дисперсии; определены условия устойчивости и коагуляции частиц парафина, а также их осаждение на волокне при проклейке.

парафиновая дисперсия, коллоидно-химические свойства, проклейка, отходы очистки растительных масел.

Парафиновые составы широко используются для проклейки бумаги. Проклейка чисто парафиновой дисперсией применяется в случаях, когда требуется получить бумагу с высокой гидрофобностью (некоторые виды оберточной, этикеточной, асбестовой, конвертной бумаги и др.) [3].

Парафиновая проклейка бумаги способствует уменьшению пенообразования при отливе, снижает скручиваемость, увеличивает гладкость поверхности, улучшает печатные свойства, повышает белизну, лоск и мягкость [2].

Очень часто в композиции бумаги используются канифольно-парафиновые дисперсии. Это объясняется тем, что приготовление чисто парафиновой дисперсии сложно и требует строгого соблюдения режима ее изготовления. В противном случае получается грубодисперсная, малоустойчивая система, из которой выделяются частицы парафина, вызывающие образование пятен в бумаге.

Существующие способы приготовления парафиновой дисперсии основаны на использовании эффективных ПАВ или эмульгирующих систем (в частности жирных кислот), позволяющих получить мелкодисперсную, устойчивую во времени эмульсию.

С целью упростить приготовление парафиновой дисперсии на кафедре ХД и ТЦБП УГЛТА была изучена возможность использования отходов очистки растительных масел Екатеринбургского жирового комбината взамен дорогих и дефицитных эмульгаторов. Отходы содержат высокомолекулярные жирные кислоты, аминокислоты и др.

Объект исследования – отходы от второй и третьей ступеней очистки жиров. В процессе нейтрализации и дистилляционной рафинации удаляются свободные жирные кислоты.

Парафиновую дисперсию готовили в эмульсере, снабженном ультразвуковым резонатором, в котором отходы дополнительно обрабатывали щелочью при нагревании. Затем в полученное мыло при интенсивном перемешивании вводили расплавленный парафин. Горячую концентрированную эмульсию разбавляли сначала теплой, потом холодной водой до концентрации 3 ... 5 %.

Полученная таким образом парафиновая дисперсия обладает высокой устойчивостью при температуре 10 ... 30 °С. Дисперсная фаза равномерно распределена в дисперсионной среде, в ней отсутствуют крупные частицы, поскольку присутствующие жирные кислоты вокруг частиц парафина обеспечивают образование сольватной оболочки, препятствующей их слипанию. Дисперсия обладает хорошей текучестью.

Клеевая дисперсия в процессе хранения, транспортирования по трубопроводам, введения в волокнистую суспензию, перемешивания для равномерного распределения в бумажной массе, подачи на сеточный стол должна обладать максимальной агрегативной и адсорбционной устойчивостью, т. е. препятствовать взаимодействию частиц клея, в частности парафина, друг с другом и с волокном.

Система находится в устойчивом равновесии за счет электростатического или структурно-сольватационного факторов. Для оценки факторов, влияющих на устойчивость парафиновой дисперсии были определены электрокинетические свойства частиц парафина.

Дзета-потенциал парафиновых частиц определяли методом электрофореза и вычисляли по уравнению Гельмгольца – Смолуховского

$$\zeta = 4 \pi \mu u / \epsilon n,$$

где μ – вязкость, Па · с;

u – скорость движения частицы, см/с;

ϵ – диэлектрическая постоянная;

n – градиент потенциала, В/см, $n = E/L$;

E – разность потенциалов между электродами, В;

L – расстояние между электродами ячейки, см.

При отсутствии электролита ($pH = 7$) и ПАВ дзета-потенциал частиц парафина равен 23 мВ.

Для оценки размеров частиц парафиновой дисперсии были проведены наблюдения под микроскопом. Парафиновую дисперсию разбавляли до концентрации 0,4 г/л, каплю дисперсии наносили на предметное стекло и помещали под микроскоп. Было проанализировано 10 проб. В каждой пробе измеряли не менее 50 частичек. На основании полученных экспериментальных данных была построена кривая распределения частиц парафина по размерам (рис. 1, кривая 1).

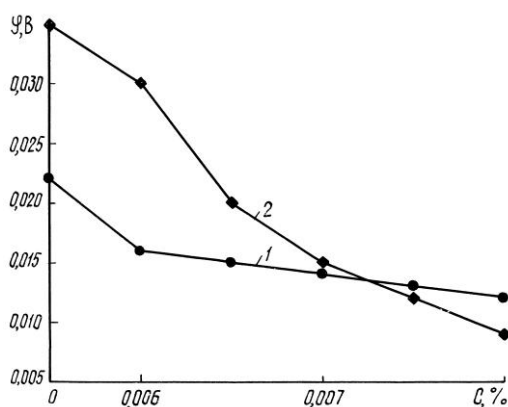
Для получения достоверных результатов параллельно определяли размеры частиц парафиновой дисперсии на анализаторе дисперсного состава, работающем по принципу кондуктометрии.

В основе действия анализатора лежит условие, что электропроводность суспензии отличается от электропроводности чистого растворителя. При прохождении частицы через капиллярное отверстие определенного размера происходит изменение электрического сопротивления ячейки. Возникающие импульсы, предварительно откалиброванные по монодисперсным частицам, преобразуются в цифровой код и обрабатываются программной частью анализатора в виде зависимости процентное содержание – размер частиц [1]. Распределение частиц парафина по размерам, полученное на анализаторе, представлено на рис. 1 в виде кривой распределения 2.

При сравнении кривых 1 и 2 видно, что размеры частиц колеблются от 1,0 до 8,0 мкм, при этом 80 % частиц имеют размеры от 1,0 до 2,0 мкм.

В ходе исследования парафиновой дисперсии изучено влияние доба-

Рис. 2. Влияние концентрации электролита C на величину электрокинетического потенциала φ частиц парафина (1) и волокна (2) (концентрация парафина – 0,2 %, волокна – 0,35 %; здесь и далее, на рис. 3, 4, горизонтальная шкала для наглядности неравномерная)



вок электролита на изменение электрокинетического потенциала парафино-

вых частиц и волокон бумажной массы (композиция содержала 60 % макулатуры и 40% СФА небеленой целлюлозы). Электрокинетический потенциал частиц парафина определяли методом электрофореза, волокон бумажной массы – по потенциалу протекания.

Проведенные исследования, результаты которых представлены на рис. 2, показывают, что введение электролита снижает электрокинетический потенциал парафиновых частиц и волокна, что объясняется сжатием диффузной части двойного электрического слоя. Дзета-потенциала частиц парафина вследствие большей адсорбционной насыщенности изменяется в меньшей степени, чем у волокнистой суспензии. При концентрации электролита более 0,08 % электрокинетический потенциал волокон стремится к изоэлектрической точке, при этом электростатические силы отталкивания снижаются, что создает условия для коагуляции частицы парафина на волокне.

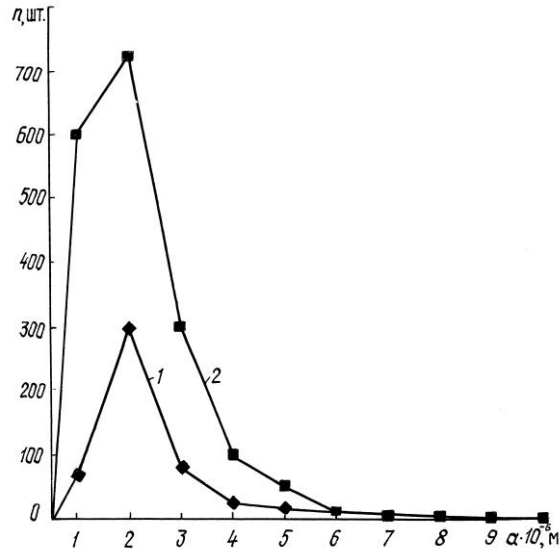


Рис. 1. Кривые распределения числа частиц n парафина по размерам a : 1 – при наблюдении с помощью микроскопа; 2 – при определении кондуктометрическим методом

Исходная масса для получения оберточной гидрофобной бумаги с точки зрения коллоидной химии представляет собой сложную дисперсную систему, содержащую волокно, клеевые частички (парафин), эмульгатор, коагулянт (сульфат алюминия). Представляет интерес на основании современной теории устойчивости дисперсных систем (теория ДЛФО) выявить условия, при которых достигается наилучшая проклейка.

Согласно теории ДЛФО между частицами дисперсной фазы действуют силы молекулярного притяжения U_m и силы отталкивания $U_{от}$ (положительное расклинивающее давление по Дерягину). Силы отталкивания складываются из электростатической U_i и структурной (или сольватационной) $U_{стр}$ составляющих:

$$U_{от} = U_i + U_{стр}.$$

Наиболее универсальной составляющей молекулярных сил притяжения является дисперсионная. Как правило, при расчете энергии взаимодействия двух сфер с радиусами r_1 и r_2 пользуются следующим выражением [1]:

$$U_m = \frac{-Ar_1r_2}{6h(r_1 + r_2)} \left[\frac{1}{1 + 1,77p_0} \right],$$

где A – сложная константа Гамакера, эрг;

h – расстояние между взаимодействующими сферами, см;

$p_0 = 2\pi h/\lambda$;

λ – лондоновская длина волны.

Для расчета энергии электростатического отталкивания (обусловленного отталкиванием двойных электрических слоев при их перекрытии) двух сферических частиц с радиусами r_1 и r_2 пользуются уравнением Фюрстенгау:

$$U_m = \frac{\varepsilon r_1 r_2 (\psi_1^2 + \psi_2^2)}{4(r_1 + r_2)} \left[\frac{2\psi_1 \psi_2}{(\psi_1^2 + \psi_2^2)} \ln \left(\frac{1 + \exp(-\chi h)}{1 - \exp(-\chi h)} \right) + \ln \left(-\exp(-2\chi h) \right) \right],$$

где ε – диэлектрическая проницаемость;

ψ_1, ψ_2 – заряд поверхности частиц;

$1/\chi$ – толщина диффузного слоя.

К сожалению, современная теория ДЛФО не позволяет количественно рассчитать структурную составляющую, обусловленную особой ориентированной структурой сольватных и адсорбционно-сольватных слоев, имеющих на поверхности частиц дисперсной фазы. Поэтому дальнейший анализ устойчивости дисперсных частиц возможен путем сопоставления двух расчетных величин: энергии молекулярного притяжения и энергии электростатического отталкивания. Баланс этих энергий определяет результат встречи двух частиц дисперсной фазы, взаимодействие которых принято характеризовать с помощью зависимости суммарной энергии взаимодействия частиц U от расстояния h между ними (рис. 3):

$$U(h) = U_m(h) + U_i(h).$$

На основании экспериментально найденных значений электрокинетического потенциала частиц парафина и волокон бумажной массы (композиция содержала 60 % макулатуры и 40 % СФА небеленой целлюлозы, предназначенной для изготовления оберточной бумаги) были выявлены и проанализированы зависимости (h).

Как видно из рис. 3, при введении в дисперсную систему электролита происходит уменьшение дзета-потенциала частиц парафина, на суммарных потенциальных кривых наблюдается снижение потенциального барьера с 40,08 до 8,91 кТл, показывающее преобладание положительной энергии отталкивания U_i над отрицательной энергией притяжения U_m .

Кривые, приведенные на рис. 3, отвечают состоянию системы с достаточно высоким потенциальным барьером. Вероятность образования агрегатов частиц парафина в таких условиях очень мала и парафиновая дисперсия обладает большой агрегативной устойчивостью.

При дальнейшем добавлении в дисперсию сульфата алюминия и уменьшении величины электрокинетического потенциала частиц парафина до 0,009 В энергетический барьер исчезает, создавая условия для коагуляции частиц парафина.

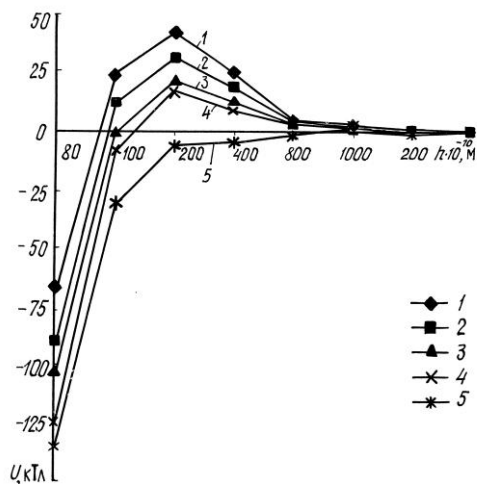


Рис. 3. Зависимость суммарной энергии взаимодействия U частиц парафина от расстояния h между ними в растворе сульфата алюминия (концентрация $(1,8 \dots 2,3) \cdot 10^{-7}$ моль/м³) при различном потенциале частиц: 1 – -0,16 В; 2 – -0,015; 3 – -0,014; 4 – -0,013; 5 – -0,012 В (размер частиц парафина $a = 1,6 \cdot 10^{-6}$ м)

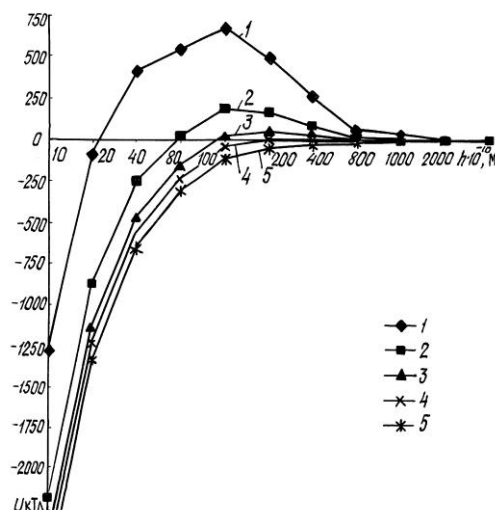


Рис. 4. Зависимость U частиц парафина и целлюлозного волокна от h в растворе сульфата алюминия при различных концентрациях сульфата алюминия и потенциалах частиц парафина и волокна: 1 – $1,8 \cdot 10^{-7}$ моль/ м^3 , $-0,016$ В, $-0,030$ В; 2 – $1,84 \cdot 10^{-7}$, $-0,015$, $-0,020$; 3 – $1,9 \cdot 10^{-7}$, $-0,014$, $-0,015$; 4 – $2,0 \cdot 10^{-7}$, $-0,013$, $-0,012$; 5 – $2,3 \cdot 10^{-7}$ моль/ м^3 , $-0,012$ В, $-0,009$ В;

Из представленных на рис. 4 потенциальных кривых $U(h)$, отражающих взаимодействие между частицами парафина и целлюлозным волокном, видно что, энергетический барьер $\Sigma U_i = 670$ кТл является непреодолимым для частиц парафина. Осаждение и удержание частиц парафина в этом случае затруднено.

При введении в дисперсную систему сульфата алюминия происходит уменьшение дзета-потенциала волокна и частиц парафина, вследствие этого потенциальный барьер снижается и практически исчезает. Создаются условия для коагуляции частицы парафина с волокном бумажной массы.

При снижении энергетического барьера до $\Sigma U_{\max} = 3,42$ кТл создаются благоприятные условия для прочного сцепления малых частиц парафина с целлюлозным волокном.

Выводы

1. Получена устойчивая высокодисперсная парафиновая дисперсия, в качестве эмульгатора в которой использованы отходы очистки растительных масел Екатеринбургского жирового комбината.
2. Методика получения парафиновой дисперсии отличается достаточной простотой и надежностью.
3. С использованием теории ДЛФО установлены условия коагуляции и устойчивости частиц парафина, определены оптимальные условия осаждения парафиновых частиц на волокно, что обеспечивает качественную проклейку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефремов И.Ф.* Периодические коллоидные структуры. – Л.: Химия, 1971. – 192 с.
2. *Крылатов Ю.А., Коверенский И.Н.* Материалы для проклейки бумаги и картона. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 83 с.
3. *Цветков Б.Н., Седов А.В.* Гидрофобизирующие вещества на неканифольной основе в производстве бумаги и картона. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 44 с.

Уральская государственная лесотехническая академия

Поступила 16.03.98

O.Yu. Bauer, M.A. Ageev, S.P. Sannikov, A.Ya. Ageev

Investigation of Colloid-and-chemical Properties of Paraffin Dispersion

The colloid-and-chemical properties of stable highly discontinuous paraffin dispersion have been investigated. The conditions of stability and paraffin particles coagulation are determined as well as their sedimentation on fiber when sizing.

УДК 662.8.053.42

В.В. Заляжных, Д.Г. Чухчин

Заляжных Владимир Васильевич родился в 1960 г., окончил в 1982 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации, метрологии и сертификации Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных трудов в области биохимической переработки растительного сырья, гидролизных и сульфитных щелоков.



Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет 19 печатных трудов в области химической переработки древесины.

**ПОГЛОЩЕНИЕ ЛИГНОСУЛЬФОНОВЫХ КИСЛОТ
ПРИ ОБРАБОТКЕ СУЛЬФИТНЫХ ЩЕЛОКОВ АНИОНИТОМ АН-31**

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии показано, что анионит АН-31 селективно сорбирует низкомолекулярные лигносульфонаты.

сульфатные щелока, жидкостная хроматография, анионит АН-31, лигносульфоновые кислоты; низкомолекулярные лигносульфонаты.

Обработка сульфитного и бисульфитного щелоков анионитом АН-31 при температуре около 80 ... 90 °С является эффективным способом их подготовки к биохимической переработке, позволяющим получать субстраты с низким содержанием сернистых соединений [2]. При этом ионит сорбирует также часть лигносульфонатов. Известно, что обработка анионитами позволяет фракционировать лигносульфонаты по размерам молекул и молекулярным массам [3]. Нами изучено фракционирование лигносульфонатов анионитом АН-31.

В исследовании использовали сульфитный щелок Архангельского ЦБК и бисульфитный щелок Сясьского ЦБК. Анионит АН-31 к работе готовили по методике, изложенной в [4]. Обработку щелока вели путем пропускания его нисходящим потоком через ионит в ОН-форме, загруженный в количестве 7 г в колонку диаметром 15 мм, термостатируемую при температуре $t = (85 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Объем загрузки ионита в ОН-форме составил 22 мл. Ионированный щелок отбирали фракциями по 100 мл. Регенерацию ионита

проводили 1 н. раствором аммиака в количестве 200 мл при $(85 \pm 5) ^\circ\text{C}$ с удельной нагрузкой регенерирующего раствора на ионит $5,8 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{ч})$ ($1,8 \text{ л}/(\text{л}\cdot\text{ч})$). Перед регенерацией и после нее ионит в колонке промывали водой до нейтральной реакции. Содержание лигносульфонатов в ионированном щелоке в процентах от исходного рассчитывали по поглощению при длине волны $\lambda = 230 \text{ нм}$ [1] в буфере с рН 6 (разведение 1:10 000).

В исходном и ионированном щелоках, а также в растворе после регенерации (регенерате) определяли молекулярно-массовое распределение лигносульфонатов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе «Милихром-4» с колонкой диаметром 2 мм и длиной 32 мм, заполненной гелем GMA-EDMA. В качестве элюента использовали диметилформамид с добавками 5 % ледяной уксусной кислоты и 1 % хлорида лития для подавления сорбционных и полиэлектролитных эффектов. Детектирование вели по поглощению при $\lambda = 280 \text{ нм}$. Хроматографическая колонка была откалибрована по фракциям лигносульфонатов с известными молекулярными массами, определенными абсолютным методом на ультрацентрифуге. Зависимость между коэффициентом распределения K_d и молекулярной массой M имела вид

$$K_d = 1,8839 - 0,3134 \lg M.$$

Регенерат перед хроматографированием для повышения концентрации лигносульфонатов упаривали в 5 раз под вакуумом при $t = 60 ^\circ\text{C}$. По полученным хроматограммам рассчитывали молекулярно-массовые распределения, а также среднечисловые M_n и среднемассовые M_w молекулярные массы.

Кинетика поглощения лигносульфонатов сульфитного щелока ионитом в зависимости от удельной нагрузки на ионит показана в табл. 1.

Таблица 1

Удельная нагрузка, $\text{м}^3/(\text{т}\cdot\text{ч})$	Массовая доля сорбированных лигносульфонатов, % от исходного, для фракций					
	1	2	3	4	5	6
28,6	20	15	12	9	8	6
7,2	20	15	13	12	-	-

Из данных табл. 1 видно, что четырехкратное снижение удельной нагрузки на ионит с 28,6 до $7,2 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{ч})$ не оказывает существенного влияния на кинетику сорбции лигносульфонатов анионитом АН-31. Учитывая, что удельная нагрузка $28,6 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{ч})$ близка к оптимальной для десульфитации сульфитного щелока [1], можно считать ее наиболее приемлемой при проведении фракционирования лигносульфонатов.

Нормированные хроматограммы образцов, полученных при ионировании щелоков с удельной нагрузкой на ионит $28,6 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{ч})$, представлены

на рисунке. Как видно из этих данных, при обработке сульфитного и

Нормированные хроматограммы образцов сульфитного (а) и бисульфитного (б) щелоков: 1 – исходный; 2 – фракция 1 – 6; 3 – фракция 1; 4 – регенерат

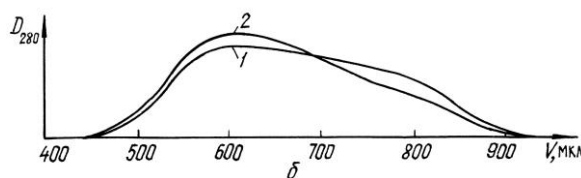
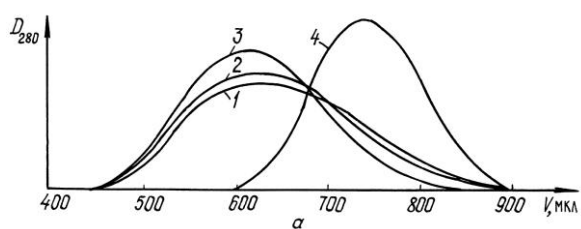
Таблица 2

Щелок	Образец	Молекулярная масса лигносульфонатов		Массовая доля сорбированных лигносульфонатов, % от исходного
		M_n	M_w	
Сульфитный	Исходный	9 100	38 700	-
	Регенерат	4 400	7 600	-
	Фракция 1	18 800	46 200	20
	Фракции 1–6	11 300	39 900	12
Бисульфитный	Исходный	6 700	34000	-
	Фракции 1–6	8 400	38 000	-

бисульфитного щелоков ионитом АН-31 селективно поглощается низкомолекулярная часть лигносульфонатов. Молекулярные массы образцов представлены в табл. 2.

Известно, что удаление из щелока низкомолекулярных лигносульфонатов и минеральных примесей позволяет существенно улучшить качество получаемых технических лигносульфонатов и увеличить объем их использования [5]. Таким образом, можно ожидать, что при десульфитации сульфитных щелоков анионитом АН-31 селективное удаление низкомолекулярной фракции лигносульфонатов в сочетании с одновременным удалением неорганических анионов [2] можно применять для получения высококачественных технических лигносульфонатов. Это позволит увеличить объемы реализации технических лигносульфонатов и соответственно сократить их сброс в водоемы.

Выделяемые при регенерации аммонийные соли низкомолекулярных лигносульфоновых кислот должны более эффективно ассимилироваться при биологической очистке, чем высокомолекулярные лигносульфонаты щелока, и служить источником азота для микроорганизмов активного ила. Кроме того, образующийся при регенерации раствор аммониевых солей лигносульфоно-



вых и других кислот, вероятно, можно перерабатывать или непосредственно использовать как азотсодержащее удобрение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гольдими́д О.* Ультрафиолетовые спектры // Лигнины (структура, свойства, реакции) / Под ред. К.В.Сарканена, К.Х. Людвига. – М: Лесн. пром-сть, 1975. – С. 147–170.
2. *Заляжных В.В.* Обработка сульфитного шелока анионитом АН-31 // Лесн. журн. – 2000. – №. 5–6. – С. 158–165.– (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Сапо́тницкий А.С.* Использование сульфитных шелоков. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 283 с.
4. *Цитович И.К.* Курс аналитической химии: Учеб. для с.-х. вузов.- 6-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1994. – 495 с.
5. *Чудаков М.И.* Промышленное использование лигнина.– 3-е изд., испр. и доп. – М: Лесн. пром-сть, 1983. – 200 с.

Архангельский государственный технический университет

Поступила 21.11.96

V.V. Zalyazhnykh, D.G. Chukhchin

Absorption of Lignosulfonic Acids when Treating the Sulfite Liquor with Anionite AN-31

Based on the method of high-efficient liquid chromatography it was demonstrated that anionite AN-31 selectively absorbs low-molecular lignosulfonates.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 674.093:658.567

Н.И. Кожухов, Е.В. Сазанова

Кожухов Николай Иванович родился в 1938 г., окончил в 1961 г. Куйбышевский сельскохозяйственный институт, профессор, доктор экономических наук, заведующий кафедрой экономики и организации ВЭС Московского государственного университета леса, заслуженный экономист РФ, член-корреспондент РАСХН, академик РАЕН. Имеет более 200 печатных работ в области экономики и управления отраслями лесного комплекса.



ВОПРОСЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУСКОВЫХ ОТХОДОВ В ЛЕСОПИЛЕНИИ

Рассмотрен вопрос о рациональном и комплексном использовании кусковых отходов, в том числе лесопиления, как сырья для производства других видов продукции. В качестве базовых рекомендуются такие виды вырабатываемого продукта, которые позволяют сэкономить наибольшее количество деловой древесины.

ресурсосбережение, лесопиление, кусковые отходы, комплексное использование, баланс древесины.

Истощение природных ресурсов, ухудшение экологических условий обитания, связанные с техническим прогрессом, привели к появлению проблем, вызывающих серьезную озабоченность человечества. Интенсивное сведение лесов обостряет общую проблему. Древесина является главным продуктом леса, широко распространенным природным материалом, используемым в различных отраслях промышленности и жизнедеятельности человека. В отличие от ископаемого сырья ее ресурсы обладают уникальной способностью непрерывно возобновляться.

В то же время возрастающая потребность в продукции лесопереработки увеличивает дефицит древесины, доступ к ее естественным ресурсам усложняется, а качественные характеристики ухудшаются.

Известно, что существующие технологии обработки древесины весьма энерго- и материалоемки, сопровождаются большим количеством неиспользуемых отходов и другими потерями. Так, в 1995 г. для производства 22,9 млн м³ пиломатериалов было использовано 58 % всего объема заготовленного в стране сырья.

Создание ресурсосберегающих технологий позволяет коренным образом повысить эффективность комплексного использования древесины, рациональнее распоряжаться лесными ресурсами, уменьшить энергоемкость технологических процессов, вовлечь в сферу производства малоценную древесину мягких лиственных пород, увеличить эксплуатационный срок службы изделий из древесины и т. д.

Необходимой предпосылкой для создания ресурсосберегающих технологий в обработке древесины является разработка научно обоснованных новых направлений, технических решений и качественная трансформация традиционных технологий.

Специфика потребления, производства и ряд технико-экономических факторов требуют различных подходов к установлению направлений переработки древесины. Этот вопрос следует изучать, начиная от выращивания леса и кончая переработкой древесины в конечную продукцию. В данной работе рассматривается использование древесины только в лесопилении – основном ее потребителе.

Рациональное комплексное использование древесины в лесопилении предполагает ее полную переработку на полезную и полноценную продукцию. Отходов как отбросной части сырья не должно быть. Кроме того, распределение древесины на производство различных видов продукции (пиломатериалы, технологическая щепка, стружка для плит и т. д.) должно иметь экономически эффективную основу.

Экономические показатели лесопильных предприятий зависят от того, насколько рационально расходуется переработанное сырье. В общем его балансе 60 ... 65 % приходится на долю пиломатериалов, 17 ... 22 % – на кусковые отходы, 12 % – на опилки, 5 % – безвозвратные потери (усушка и распыл). Вне баланса при окорке получается 9 ... 10 % отходов. Ресурсы древесных отходов от лесопиления в среднем по стране равны примерно 50 млн м³ в год. Отходы лесопильного производства – полноценное и наиболее дешевое сырье для производства целлюлозы, древесных плит, спирта, муки, королита, арболита и др. [1].

Уровень комплексного использования сырья на лесопильных предприятиях в среднем составляет 81,5, с учетом потребления отходов на энергетические нужды – 90,8 %. На передовых предприятиях на технологические нужды (для производства продукции) расходуется 85 ... 90 % древесины, однако на многих предприятиях уровень использования сырья низкий. В настоящее время в стране появляется множество мелких предприятий, производящих пилопродукцию по упрощенным технологиям, с низкими показателями полезного выхода и большим количеством неиспользуемых в дальнейшем отходов древесины. Только за счет рациональных технологий на предприятиях лесосырьевые ресурсы могут быть увеличены на 0,8 ... 1,2 млн м³ [1].

Основные перспективные пути улучшения комплексного использования сырья:

концентрация, специализация, кооперирование лесопильного производства, сосредоточение выпуска пиломатериалов на крупных специализированных предприятиях;

совершенствование существующей и внедрение прогрессивных технологий и систем машин, обеспечивающих повышение объемного и качественного выхода пиломатериалов;

вовлечение в переработку отходов, создание малоотходных и безотходных технологических процессов;

разработка и внедрение мероприятий по повышению качества продукции;

внедрение системы планирования и учета комплексного использования сырья.

Анализ работы предприятий свидетельствует о значительных потерях древесины в технологическом процессе производства пиломатериалов. Так, на участке приемки, хранения, сортировки, окорки и подачи сырья в распиловку потери составляют 1,0 ... 1,5; в лесопильном цехе (распиловка бревен, брусьев на лесопильных рамах, обрезка, торцовка) – 1,5 ... 2,0; в процессе сушки пиломатериалов – 0,3 ... 1,0; на участке окончательной обработки и хранения пиломатериалов – 0,2 ... 0,5; в целом по всему циклу лесопильного производства – 3 ... 5 %.

Часть потерь можно исключить, повышая технологическую дисциплину, улучшая организацию труда. Для устранения другой части потерь необходимо перестроить технологию, использовать более эффективное оборудование, иными словами, применять ресурсосберегающие технические решения.

Эффективность лесопильного производства во многом определяется степенью утилизации древесных отходов и применением безотходной технологии. В балансе перерабатываемого сырья отходы (без коры) составляют 32 ... 37 %, в древесной массе на предприятиях России их около 23 млн м³.

Структура использования отходов выглядит следующим образом: на технологические нужды – 55,4; топливно-энергетические – 28,4; для сельского хозяйства – 5,9; не используется – 10,3 %.

Все отходы, образующиеся при переработке древесины, можно классифицировать следующим образом: кусковые, мягкие, кора, древесная зелень.

К кусковым относят отходы лесозаготовок на лесосеке (обломки ствола, хворост, валежник; сучья, ветви, вершинки; пни и корни); отходы лесозаготовок на лесных складах (сучья, ветви, вершинки, откомлевки, козырьки); отходы лесопиления и деревообработки (горбыли, рейки, отрезки пиломатериалов, бревен); отходы фанерного производства (карандаши, шпон-рванина, обрезки шпона и фанеры, оструг, отрезки немерных чураков);

Мягкие – отходы лесопиления (опилки), деревообработки (опилки, стружка, древесная пыль).

Таблица 1

Компонент баланса	Баланс древесины, %			
	Распиловка вразвал на пиломатериалы		Распиловка с брусковкой	
	необрезные	обрезные	50 %-й	100 %-й
Доски длиной более 1 м	74	56	57,5	59
Горбыли	6	6	8,5	10
Рейки	-	14	10	7
Короткомерное сырье 0,3...1,0 м	3	3	3	3
Отрезки досок	-	2	2	2
Опилки	10	12	12	12
Древесная пыль	2	2	2	2

Примечание. Усушка при всех способах распиловки составляет 5 %.

К коре относят отходы окорки (кора сплавной древесины, древесины сухопутной доставки), часто с примесью небольшого количества натуральной древесины из периферийной зоны, сколов и отщепов.

Древесная зелень – отходы лесозаготовок на лесосеке и на лесных складах (листва, хвоя, мелкие ветви).

Для примера в табл. 1 приведен средний баланс сырья при продольной распиловке на лесопильных рамах бревен хвойных пород диаметром 20 ... 22 см и длиной 6 м [1].

В табл. 2 приведен баланс древесины при распиловке сырья на лесопильных рамах и агрегатных линиях переработки древесины [2]. Усушка и древесная пыль во всех случаях составляют 6 %.

Таблица 2

Компонент баланса	Баланс древесины, %, по видам головного оборудования и диаметрам бревен, см											
	Лесопильные рамы						Агрегатная линия					
	100 %-я брусковка			Вразвал			ЛАПБ			Лесопильная рама		
	16	20	24	16	20	24	16	20	24	16	20	24
Пиломатериалы обрезные:	56,7	59,2	62,7	51,6	54,3	59,2	50,0	53,6	55,6	56,1	58,6	62,2
	36,9	38,5	40,8	33,5	35,3	38,5	32,5	34,8	36,1	36,5	38,1	40,4
экспортные внутреннего рынка	19,8	20,7	21,9	18,1	19,0	20,7	17,5	18,8	19,4	19,6	20,5	21,8
Отходы:	13,0	11,0	8,7	12,0	10,0	8,0	-	-	-	8,0	6,0	5,0
	3,5	6,0	5,0	17,2	15,4	12,4	-	-	-	9,1	7,4	6,2
	2,0	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	-	-	-	3,0	3,0	2,0
	-	-	-	-	-	-	30,9	25,5	25,3	4,3	5,2	3,9
	-	-	-	-	-	-	5,0	4,2	4,1	0,7	0,8	0,6
	13,8	14,8	15,6	10,2	11,3	12,4	8,1	10,7	9,1	12,8	13,0	14,1
Итого без учета опилок и отсева от щепы	75,2	79,2	78,4	83,8	82,7	81,6	80,9	79,1	80,9	76,2	80,2	79,3

Таблица 3

Основное оборудование потока	Отходы (числитель – % от пиловочного сырья, знаменатель – м ³ /г)		
	Горбыли	Рейки	Отрезки досок
Лесопильные рамы (2 шт.), обрезные станки (1-2 шт.)	$\frac{6-12}{1,8-3,6}$	$\frac{8-13}{2,4-3,9}$	$\frac{2-6}{0,6-1,8}$
Лесопильные рамы (2 шт.), фрезерно-обрезные станки (1-2 шт.)	$\frac{6-12}{1,8-3,6}$	–	$\frac{2-6}{0,6-1,8}$
Линия агрегатной переработки бревен ЛАПБ	–	–	$\frac{2-6}{0,8-2,3}$
Фрезерно-брусующий агрегат (спаренный), лесопильная рама или круглопильный и обрезной станки	–	$\frac{0,5-1}{0,2-0,4}$	$\frac{2-6}{0,8-2,4}$
Фрезернопильный агрегат (спаренный), лесопильная рама или круглопильный и обрезной станки	–	$\frac{5-6}{3,7-4,5}$	$\frac{2-6}{1,5-4,5}$

Примечание. В графе «Горбыли» меньшие значения относятся к распиловке вразвал; в графе «Рейки» – большие значения соответствуют распиловке вразвал при выработке обрезных пиломатериалов; в графе «Отрезки досок» – условиям распиловки низкосортного пиловочника и при выработке экспортных пиломатериалов.

Таблица 4

Вид отходов	Длина	Ширина	Толщина	Влажность, %	Процент от исходного сырья
	мм				
Горбыли	3000...6500	80...130	20...50	60...90	6...10
Рейки	2000...6500	35...100	25...100	60...90	7...14
Отрезки досок	25...150	30...300	13...250	50...80	2...4
Опилки	–	–	–	40...80	9...16

Среднее количество кусковых отходов при распиловке бревен на один технологический поток за 1 ч показано в табл. 3.

При переработке пиловочного сырья образуется большое количество кусковых отходов – около 15 ... 20 % от объема перерабатываемого сырья (табл. 4). В экспортном лесопилении они перерабатываются в основном на технологическую щепу; на других предприятиях из нее изготавливают мелкую пилопродукцию или тару. При этом необходимо сокращать использование наиболее ценной заболонной части древесины, заменяя ее картоном, а также низкокачественной и дровяной древесиной.

Из горбылей можно изготавливать обаполы, что не требует больших трудозатрат. Они имеют сравнительно высокий ценностный коэффициент, используются для затяжки кровли, почвы и боковых пород при креплении горных выработок. В настоящее время спрос на обаполы значительно сократился из-за общих тенденций уменьшения объемов добычи ископаемых.

Горбыли и рейки применяются также для производства различных строительных материалов (клееные панели, щиты, социально-бытовые

предметы). В этом случае древесные отходы необходимо сушить до влажности не более 12 %, что является основным сдерживающим фактором для предприятий из-за ограниченных возможностей и высокой стоимости сушки.

Большой интерес представляет разрабатываемая в последнее время новая технология преобразования кусковых отходов лесопиления в однородную волокнистую фракцию, область дальнейшей переработки которой практически не ограничена [4].

Для определения более правильного направления использования кусковых отходов необходимо оценить и принять за базовые такие виды вырабатываемого продукта, которые при прочих равных условиях позволяют сэкономить наибольшее количество деловой древесины.

В зависимости от специфических особенностей каждого предприятия трудозатраты на выработку мелкой пилопродукции в 2–3 раза выше, чем на выработку основных пиломатериалов. Выход мелкой пилопродукции из горбылей составляет 20 ... 25, из реек 25 ... 35 %.

Таким образом, использование кусковых отходов лесопиления в качестве сырья для производства других видов продукции позволяет повысить эффективность комплексного использования сырья на 15 ... 20 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Песоцкий А.Н., Ясинский В.С. Рациональное использование древесины в лесопиении. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 128 с.
2. Руководящие технические материалы по комплексной переработке вторичных древесных ресурсов в лесопиении / ЦНИИМОД. – Архангельск, 1990. – 142 с.
3. Справочник по лесопиению / Ю.А. Варфоломеев, И.С. Дружин, Ю.А. Дьячков и др. Под ред. А.М. Копейкина. – М.: Экология, 1991. – 496 с.

Московский государственный университет леса

Поступила 24.04.2000 г.

N.I. Kozhukhov, E.V. Sazanova

Questions of Resource Saving and Utilization of Lump Residues in Wood Sawing

The question of rational and complex utilization of lump residues (in wood sawing including) is viewed as raw material for producing other types of products. It is recommended to use such types of products as the base ones that allow saving the highest volume of timber.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 674.048.3

Л.А. Баданина, Е.Ю. Варфоломеева

Баданина Лариса Александровна родилась в 1968 г., окончила в 1991 г. Ленинградский государственный университет, старший преподаватель кафедры высшей математики Архангельского государственного технического университета. Имеет 4 печатные работы в области математического моделирования процесса консервации древесины.



Варфоломеева Елена Юрьевна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, младший научный сотрудник, аспирант кафедры лесопильно-строгальных производств. Имеет 8 печатных работ по проблемам защиты лесопроизводства от биопоражения с учетом экологических требований разных стран.



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОПОРАЖЕНИЯ АНТИСЕПТИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

По результатам микологических лабораторных испытаний антисептических препаратов разработана математическая модель биологического поражения древесных образцов, позволяющая оптимизировать рецептуру трехкомпонентных антисептиков.

древесина, антисептик, испытания, оптимизация, пропитка.

В целях снижения экологической опасности антисептиков для защиты древесины от гниения в последние годы разработаны препараты на основе нескольких малотоксичных компонентов, которые при совместном воздействии на грибы проявляют синергический эффект.

Обычно рецептуру новых многокомпонентных антисептиков подбирают по результатам лабораторных микологических испытаний по методике, предложенной лабораторией защиты древесины ЦНИИМОД.* Опыты

* Чащина Л.М., Поромова Т.М. Методика испытаний защитных средств против деревоокрашивающих и плесневых грибов // Сушка и защита древесины: Науч.тр. / ЦНИИМОД. – 1985. – С. 120–127.

проводили на образцах из заболонной сосновой древесины плотностью 0,48 ... 0,52 г/см³ и влажностью 80 ... 120 %. Образцы имели сечение 5 × 15 мм и длину вдоль волокон 180 мм. При испытаниях каждая серия состояла из 10 образцов. Для контроля в аналогичных условиях исследовали образцы, не пропитанные защитными препаратами.

В процессе эксперимента образцы сначала погружали в водный раствор исследуемых многокомпонентных антисептиков. Время выдержки 30 с. После подсушивания до исчезновения капельной влаги пропитанные образцы инфицировали суспензией спор чистых культур плесневых (4 вида) и деревоокрашивающих (4 вида) грибов, наиболее распространенных на территории России. Инфицированные образцы выдерживали 50 сут в эксикаторе с плотно закрытой крышкой при температуре (22 ± 1) °С. Через каждые 10 сут образцы осматривали и оценивали обрастание их поверхности грибами. Обрастание выражали в процентах от общей площади образца.

Цель работы – разработать математическую модель для оптимизации рецептуры трехкомпонентных антисептиков с использованием микологических испытаний деревянных сортиментов в лабораторных условиях.

Рассмотрим результаты испытаний семи серий образцов, обработанных трехкомпонентным антисептиком. Образцы были испытаны в лаборатории защиты древесины ЦНИИМОД при одинаковых условиях и различались только процентным соотношением компонентов (K_1 , K_2 , K_3) в рецептуре. Допустимое содержание компонентов K_1 , K_2 и K_3 соответственно равно 76...78, 11...13 и 9 ... 17 %.

В процессе испытаний измеряли два параметра: продолжительность выдержки в биологически агрессивной среде и процент поражения грибами поверхности образцов (обрастание). Результаты приведены в таблице.

Математическая модель, описывающая зависимость биопоражения от соотношения трех компонентов в рассматриваемой композиции, представлена в виде поверхности. При реализации этой модели сначала для каждой серии образцов методом наименьших квадратов находили аналитическое задание функции $W(T)$ одной переменной. Эта функция связывает два параметра: продолжительность выдержки образцов в биологически агрессивной среде T и процент пораженной грибами поверхности W .

Процентное соотношение компонентов в антисептике			Обрастание, %, образцов грибами при продолжительности выдержки, сут				
K_1	K_2	K_3	10	20	30	40	50
77	13	10	0	3,0	4,5	5,5	6,0
76	12	17	0	2,3	3,7	4,7	5,6
78	11	11	0	3,3	3,6	5,0	5,7
76	11	13	0	2,4	3,6	4,9	5,8
76	13	11	0	2,2	4,0	4,3	5,4
78	12	10	0	2,6	3,8	4,8	5,6
78	13	9	0	2,5	4,1	4,6	5,7

По экспериментальным данным для образцов первой серии находили функцию $W(T)$, которая максимально приближается к точкам со следующими координатами $(W; T)$: (10; 0), (20; 3,0), (30; 4,5), (40; 5,5), (50; 6,0). Было установлено, что рассматриваемая зависимость лучше всего аппроксимируется логарифмической функцией

$$W = 3,783 \ln T - 8,534.$$

По аналогичной методике находили функции для остальных шести серий испытаний:

$$\begin{array}{ll} W = 3,454 \ln T - 8,001; & W = 3,402 \ln T - 7,570; \\ W = 3,563 \ln T - 8,276; & W = 3,310 \ln T - 7,611; \\ W = 3,440 \ln T - 7,856; & W = 3,470 \ln T - 7,933. \end{array}$$

В результате подстановки $T = e^t$ получено семь уравнений прямых, угловые коэффициенты Z (тангенс угла наклона) которых постоянны:

$$Z_1 = 3,783; Z_2 = 3,454; Z_3 = 3,563; Z_4 = 3,440; Z_5 = 3,402; Z_6 = 3,310; Z_7 = 3,470.$$

Каждой паре компонентов K_1 и K_2 соответствует одно значение углового коэффициента Z , который находится в прямопропорциональной зависимости от величины показателя биопоражения. Процентное содержание третьего компонента определяют как

$$K_3 = 100 - K_1 - K_2.$$

Введем трехмерные координаты: ось Ox – значения процентного соотношения компонента K_1 , ось Oy – компонента K_2 , ось Oz – углового коэффициента, характеризующего биопоражение.

В результате получаем следующие точки $(K_1; K_2; Z)$ в пространстве: (77; 13; 3,783), (76; 12; 3,454), (78; 11; 3,402), (76; 11; 3,563), (76; 13; 3,310), (78; 12; 3,440), (78; 13; 3,470). Затем по методу наименьших квадратов находим функцию двух переменных, которая наилучшим образом приближается к указанным точкам.

Искомую зависимость можно представить в виде квадратичной функции

$$Z = A K_1^2 + B K_2^2 + C K_1 K_2 + D K_1 + E K_2 + F, \quad (1)$$

где A, B, C, D, E, F – коэффициенты, определенные методом наименьших квадратов, $A = -0,016$; $B = 0,054$; $C = 0,090$; $D = 1,372$; $E = -8,220$; $F = 0$.

В результате получена зависимость углового коэффициента Z от процентного соотношения компонентов K_1 и K_2 , т. е. установлена прямопропорциональная зависимость биопоражения от углового коэффициента. Поэтому для нахождения наименьшего значения функции Z необходимо определить наименьшее значение функции (1) в прямоугольной области D : $76 < K_1 < 78$; $11 < K_2 < 13$.

Найдем частные производные по K_1 и K_2 и приравняем их к 0:

$$\frac{\partial Z}{\partial K_1} = 2AK_1 + CK_2 + D = 0;$$

$$\frac{\partial Z}{\partial K_2} = 2AK_2 + CK_1 + E = 0.$$

Решив эту систему, получим критическую точку $E(77,116; 11,875)$.

Затем исследуем функцию на границе области. На прямой AD ($K_1 = 76$) имеем критическое значение $K_2 = 12,334$, а на прямой BC ($K_1 = 78$) – значение $K_2 = 11,511$. Оба значения принадлежат исследуемой области. Далее определяем критические значения на прямых AB и CD . При $K_2 = 11$ получаем $K_1 = 74,806$, при $K_2 = 13$ имеем $K_1 = 79,090$. Оба значения не принадлежат нашей области. Вычислим значения функции в трех критических точках и четырех угловых:

$$\begin{aligned} Z(77,116; 11,875) &= 3,073; & Z(76; 11) &= 3,210; \\ Z(76; 12,334) &= 3,050; & Z(78; 13) &= 3,198; \\ Z(78; 11,511) &= 3,014; & Z(76; 13) &= 3,042; \\ & & Z(78; 11) &= 3,006. \end{aligned}$$

Сравнивая семь значений Z , заключаем, что оптимальное содержание в антисептическом растворе компонента K_1 должно составлять 78 %, а K_2 – 11 %. При этом угловой коэффициент равен $Z = 3,006$.

Получена зависимость углового коэффициента Z от K_1 и K_2 :

$$Z = -0,016 K_1^2 + 0,054 K_2^2 + 0,09 K_1 K_2 + 1,372 K_1 - 8,22 K_2.$$

Графическое изображение поверхности представлено на рис. 1.

Линии уровня седлообразной поверхности, соответствующие значениям $Z = 3,05; 3,10; 3,15$, изображены на рис. 2 (в области $76 \leq K_1 \leq 78$; $11 \leq K_2 \leq 13$). Вдоль каждой линии процент биопоражения остается постоянным относительно содержания компонентов K_1 и K_2 .

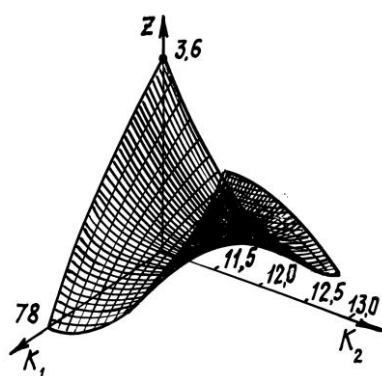


Рис. 1. Зависимость углового коэффициента Z от содержания компонентов K_1 и K_2

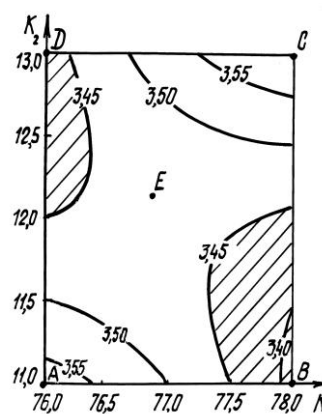


Рис. 2. Линии уровня седлообразной поверхности

Вдоль прямой AC от седловой точки $E (77,116; 11,875)$ наблюдается рост углового коэффициента, а вдоль прямой BD – убывание. Минимальные значения функция принимает в заштрихованных областях ближе к точкам $D (76; 13)$ и $B (78; 11)$. Исходя из этого можно выделить два варианта оптимального содержания компонентов:

1) $76,0 \leq K_1 \leq 76,2;$

$12,25 \leq K_2 \leq 13,00;$

2) $77,5 \leq K_1 \leq 78,0;$

$11,00 \leq K_2 \leq 12,50.$

Выводы

1. Для оптимизации рецептуры по результатам лабораторных испытаний образцов разработана математическая модель, которая устанавливает зависимость показателя биопоражения Z от содержания трех компонентов K_1, K_2, K_3 . Получена функция $Z (K_1, K_2)$ двух аргументов, представляющая собой поверхность (рис. 1). Процентное содержание третьего компонента определено из соотношения $K_3 = 100 - K_1 - K_2$. Зная зависимость $Z (K_1, K_2)$ и содержание компонентов K_1, K_2 в растворе, можно вычислить показатель поражения древесины грибами.

2. Определено оптимальное соотношение ингредиентов в трехкомпонентном антисептике.

L.A. Badanina, E.Yu. Varfolomeeva

Mathematical Simulation of the Biological Infestation of Preserved Wooden Samples in Laboratory Tests

Based on the results of mycological laboratory tests on preservatives the mathematical model of biological infestation of wooden samples is worked out that allows optimizing the formula of three-ingredient preservatives.

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

УДК 061.3:630*81

III МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ И СЕССИЯ КООРДИНАЦИОННОГО СОВЕТА ПО ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЮ

Межгосударственный Региональный координационный совет по современным проблемам древесиноведения (РКСД), функционирующий под эгидой Международной академии наук о древесине (ИАВС) с 11 по 14 сентября 2000 г. в г. Петрозаводске провел III Международный симпозиум «Строение, свойства и качество древесины-2000».

Для укрепления связей между вузовской и академической наукой III Симпозиум проходил совместно с Институтом леса Карельского научного центра РАН.

На симпозиум было представлено 117 докладов ученых из России, Грузии, Латвии, Польши, США, Украины, Финляндии, Франции.

Достижения в области древесиноведения были отражены в докладах представителей лесотехнических и других вузов Москвы, С.-Петербурга, Архангельска, Воронежа, Брянска, Йошкар-Олы, Красноярска, Барнаула, Братска, Курска, Казани, Новосибирска; сотрудников академических институтов РАН Москвы (Успенское, Черноголовка), С.-Петербурга, Красноярска, Екатеринбургска, Петрозаводска, Владивостока, Архангельска, Сыктывкара; зарубежных университетов и научных центров Варшавы, Гренобля, Киева, Львова, Миннесоты, Риги, Тбилиси, Харькова и других городов; отраслевых институтов и производственных организаций из разных регионов нашей страны.

В симпозиуме и проходившем в его рамках семинаре по стандартизации и приемке лесоматериалов в условиях рынка приняло участие более 120 человек.

На пленарном заседании с докладами выступили: проф. Б.Н. Уголев – о деятельности РКСД за период 1996 – 2000 г.; проф. А.М. Цыпук (соавтор проф. А.И. Шишкин) – об актуальных проблемах лесопромышленного комплекса Карелии; проф. Р. Эрикссон (США) – о гистерезисе сорбции древесины; кандидат биологических наук В.А. Козлов (соавтор М.В. Кистерная) – о древесиноведческих аспектах сохранения памятников деревянного зодчества; акад. К. Роценс (Латвия) – об изменении формы листовых древесных материалов под влиянием влажности.

Работа симпозиума проходила в четырех секциях.

В первой секции были сконцентрированы доклады по морфологии, анатомии и физиологии. Тематика докладов отражала такие проблемы как лигнификация ранней и поздней древесины лиственницы; моделирование сезонной динамики и годичного фотосинтеза хвойных; возрастная изменчивость анатомии древесины лиственницы по радиусу и высоте ствола; патологические структуры можжевельника, лиственницы и ели; генетическая природа карельской березы; влияние кислотных дождей на формирование древесины и коры сосны; зависимость между лучами и формой стебля древесных растений; механизм эндогенной регуляции образования текстуры древесины; строение и свойства древесины плодовых деревьев Западной Украины; строение древесины сосны повышенной смолопродуктивности; автоволновой характер влагопереноса в корневой системе деревьев; строение древесины арктических кустарников; роль массы клеточных стенок в дендроклиматологии;

структурные адаптации древесины растений к условиям Крайнего Севера; внутри-видовая изменчивость признаков древесины лесных пород и др.

На второй секции освещались вопросы, относящиеся к химическим, физическим и технологическим свойствам древесины. В представленных докладах были изложены результаты исследования ультраструктурной топохимии клеточных стенок, химического состава древесины и коры некоторых пород, разбухания древесины в органических растворителях и др. Ряд докладов был посвящен химическим и физическим свойствам древесины, используемой в целлюлозно-бумажном производстве. Были рассмотрены проблемы деформативности и сушильных напряжений в древесине, резонансные свойства древесины, физико-механические свойства древесины разных пород, сорбционная способность древесины мореного дуба и другие вопросы.

В третьей секции были сосредоточены доклады по биоповреждениям и защите древесины. Одно из заседаний было проведено в музее-заповеднике на о. Киж. Были представлены доклады, посвященные дереворазрушающим грибам, биостойкости лиственницы в условиях Финляндии, проблемам и накопленному опыту защиты памятников деревянного зодчества, способам защиты древесины с использованием магнитных жидкостей, силиконовых покрытий и др.

В четвертой секции рассматривались проблемы формирования качества древесины в процессе ее выращивания, переработки с целью создания эффективных материалов для использования в изделиях и конструкциях. Были освещены лесохозяйственные аспекты качества древесины, вопросы качества сушки и тепловой обработки древесины. Значительное внимание было уделено композиционным материалам (плиты, фанера), продукции целлюлозно-бумажных производств. Актуальные вопросы стандартизации, экспертизы и сертификации лесоматериалов также достаточно обстоятельно обсуждались на этой секции и семинаре.

Более подробное представление об указанных проблемах можно получить из сборника докладов симпозиума, изданного Карельским научным центром РАН в Петрозаводске.

На симпозиуме была принята резолюция, в которой подтверждена актуальность перспективных направлений исследований в области фундаментального и прикладного древесиноведения, разработанных на II симпозиуме (1996 г.); сделаны предложения, направленные на защиту памятников деревянного зодчества и развитие биологического древесиноведения; выражена благодарность коллективу Института леса КНЦ РАН (директор – доктор биологических наук В.И. Крутов) и другим организациям, обеспечившим прием участников и проведение симпозиума.

После симпозиума состоялась сессия РКСД, на которой был рассмотрен ход выполнения научных исследований, подчеркнута роль реестра экспертов высшей квалификации в области древесиноведения, лесного товароведения и смежных дисциплин, намечено место проведения следующей сессии и решены другие вопросы.

Б.Н. Уголев

Региональный координационный совет
по современным проблемам древесиноведения

B.N. Ugolev

**III International Symposium and Session of Coordinating Council on
Wood Science**

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630*62/.66(049.3)

*Е.С. Романов***КНИГА ЛЕСОВОДА ГЛАЗАМИ ЭКОНОМИСТА***

Эта книга сразу привлекает внимание своим оригинальным названием. Думаю, что благодаря ему и после того как читатели прочтут главное (хотя и заключенное в скобки) название, они внимательно посмотрят книгу, даже если лесоведение и лесоводство не их специальность. Так и я, не лесовод, по диплому – технолог по лесозаготовкам, всю жизнь занимающийся экономикой этой отрасли, сразу заинтересовался заключительной главой книги В.Ф. Цветкова, тоже названной «Камо грядеши» (с. 208–228). Беру на себя смелость сказать, что в этой главе сосредоточено множество весьма глубоких оценок прошлого, настоящего и будущего российских лесов и хозяйства в них. Акцент сделан на леса Севера, но выводы и оценки справедливы для всех наших таежных лесов.

Каждый читатель ищет в книге свое, особо выделяя новое и сверяя свои оценки уже известного с авторскими. Это тем более интересно и значимо, когда читаешь книги крупных специалистов другого профиля. В.Ф. Цветков известен как знаток северных лесов, особенно притундровых. В рецензируемой книге он предстает как лесовед и лесовод, обладающий подлинно системным подходом. Обычно (особенно в журналах, газетах) достаточно пробежать несколько строк статьи, чтобы сказать, кто автор – лесохозяйственник или промышленник: каждый «гнет» в свою сторону. В.Ф. Цветков дает, на наш взгляд, объективные, взвешенные оценки лесным отраслям; он не декларативно, а по существу переживает за леса, лесное хозяйство, лесозаготовку, переработку, озабочен конечными результатами.

Оценки прошлого, данные В.Ф. Цветковым, строги, порой суровы (с. 209–211). Полностью соглашаясь с ними, не цитирую их, так как заведомо найдутся и несогласные. В то же время автор пишет: «С высоты современных представлений об эффективном лесоводстве действующую систему хозяйствования в лесу, по-видимому, надо признать действительно иррациональной. Однако очевидно и другое: сложившаяся еще в начале века доктрина лесопользования, под флагом которой осуществлялось промышленное освоение лесов региона, была единственно возможной в соответствующих реальных исторических и экономических условиях. Эту стратегию если нельзя оправдать, то хотя бы можно понять» (с. 222).

Не вдаваясь в подробности бюджетного финансирования лесного хозяйства, В.Ф. Цветков тонко подмечает негативное влияние этой затратной формы на деятельность и психологию лесничего.

«Встреча» российского лесного хозяйства с рынком оценивается как обещающая (без привычного штампа «много-»). Автор даже не упоминает о последних переменах в структуре государственных органов управления лесным хозяйством (чем непременно воспользовалось бы большинство ревнителей отрасли). Вместо

* *Цветков В.Ф.* Камо грядеши (Некоторые вопросы лесоведения и лесоводства на Европейском Севере). – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. – 253 с.

этого он, подтверждая государственное регулирование, отмечает (по нашему мнению, справедливо), что «государственное патронирование ... нередко выступает тормозом развития лесоводства. Сдерживаются решения многих важных региональных задач, ... тормозится привлечение в лес капитала» (с. 213). Автор считает, что «наиболее совершенным механизмом регулирования взаимоотношений рыночного спроса на древесные материалы и попенной платы, призванной служить инструментом возмещения затрат на воспроизводство леса, являются лесные торги. Лесная отрасль была и должна быть доходной отраслью хозяйства» (с. 215). Он пишет: «Учитывая ошибки прошлого, следует сделать так, чтобы государственная опека над лесами не выходила за рамки здравого смысла, не трансформировалась, как это уже бывало, в преграду для развития здоровых тенденций. Но сегодняшняя действительность дает поводы для подобных опасений» (с. 213).

Говоря о концепции устойчивого развития России, В.Ф. Цветков обращает внимание, что многие специалисты лесного хозяйства «если не негативно, то очень настороженно» воспринимают положения концепции, имеющие отношение к их отрасли. Вызывает его озабоченность также «общее негативное отношение лесоводов к реформам» (с. 217).

Трудно удержаться, чтобы хоть вскользь не отметить другие интересные моменты: о роли смены пород и рубок ухода; об игнорируемых рынком прижизненных защитно-экологических свойствах лесов, «стоимость» которых в 5–24 раза выше стоимости сырья; беспокойство за сосну, лиственницу, пихту, кедр сибирский на Европейском Севере; надежды, связываемые с сертификацией, и др.

Судьбы лесов нельзя решить без людей, живущих и работающих в них. Готовы ли они к этому? Автор полагает, что «недальновидная ресурсная государственная политика в последние десятилетия хорошо уживалась с менталитетом жителя северных поселков, человека, привыкшего «отвоевывать у природы жизненные блага», покорять лесные дебри. В нашем обществе невольнo воспитывалась психология временщика, деятельность человека отделялась от ее результатов. Этому способствовало репрессивное, принудительное переселение на Север сотен тысяч жителей южных районов страны ... «Политика ГУЛАГа» породила «лесоповал» – символ каторги для нескольких поколений россиян. Психология «зоны» до сих пор поддерживает у обывателя если не страх, то явное неуважение к работе лесозаготовителя. Но для коренного северянина лес был и остается другом и помощником» (с. 209).

Добавим от себя, что лесозаготовительной отрасли ныне труднее всех других в лесном комплексе. Но и она имеет свой потенциал. Несмотря ни на что, леса Севера растут и развиваются. В них и в людях – наши надежды!

В книге В.Ф. Цветкова шесть глав (кроме рецензируемой): «Природные условия», «Лесной фонд региона», «География и районирование лесов», «Эксплуатационная нагрузка в лесах региона», «Лесовозобновление в связи с промышленными рубками», «Типологическая классификация лесов». Можно не сомневаться, что специалисты найдут в них массу полезного и оригинального: ведь это плод многолетних исследований. Выход книги совпал с избранием В.Ф. Цветкова действительным членом Российской академии естественных наук. Это символично.

Архангельский государственный
технический университет

E.S. Romanov

The Forester Book – How the Economist Sees it

ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ СОКОЛОВ

3 апреля 2001 г. исполняется 65 лет крупному ученому и организатору высшей школы, ректору Архангельского государственного технического университета Олегу Михайловичу Соколову.

Ныне доктор химических наук, профессор, действительный член Международной академии наук (Лига возрождения Российской науки), Российской инженерной академии, Российской академии естественных наук, Академии проблем качества РФ, Почетный работник высшего образования России, Почетный доктор университета г. Оулу, Почетный профессор Университета прикладных наук г. Эмдена О.М. Соколов начинал свою карьеру с должности инженера-химика Архангельского целлюлозно-бумажного комбината. Туда в 1960 г. он прибыл по окончании Ленинградского технологического института ЦБП (теперь С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров). Затем были аспирантура в АЛТИ, защита кандидатской диссертации, работа старшим научным сотрудником Проблемной научно-исследовательской лаборатории АЛТИ, доцентом, проректором; с 1987 г. ректор этого вуза.

Уроженец Ленинграда, молодой, быстро прогрессирующий ученый, рано проявивший и реализовавший способности талантливого администратора, связавший свою судьбу с северным вузом и городом и ставший в них признанным лидером – таков Олег Михайлович на своем сорокалетнем пути к сегодняшнему юбилею.

Профессор О.М. Соколов широко известен как один из ведущих ученых в отечественной химии и химической переработке древесины. Им разработано научное направление по исследованию макромолекулярных реакций лигнина, практическим приложением которого являются основы модифицирования технических лигносульфонатов. По результатам научных исследований им опубликовано более 200 научных работ. Научно-исследовательская работа тесно связана с подготовкой высококвалифицированных научно-педагогических кадров. Олег Михайлович является организатором диссертационных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций в университете, возглавляет одно из научных направлений подпрограммы «Комплексное использование древесного сырья» ФЦНТП.

Руководство кафедрой биотехнологии, многочисленным коллективом коллег-единомышленников и аспирантов, создание в рамках АГТУ НИИ химии и химической технологии древесины, широкое сотрудничество с зарубежными научными центрами являются результатом целеустремленной, глубоко продуманной научной и организационной деятельности Олега Михайловича, дающей свои плоды и служащей примером для всех учеников и сотрудников университета.

В 1994 г., во многом благодаря энергии О.М. Соколова, Архангельский лесотехнический институт стал государственным техническим университетом. АГТУ все более убедительно подтверждает правомерность своего университетского статуса. Не сдавая ни в коей мере позиций в лесных отраслях, он вправе гордиться

достижениями в энергетике, строительстве, новом для него освоении месторождений нефти и газа, горном деле, информационных технологиях, стандартизации и метрологии, юриспруденции, педагогике, прикладной математике, земельном кадастре. АГТУ не затерялся в многочисленной и весьма авторитетной компании российских технических вузов и в 1999 г. вошел в число лучших из них. Теперь всем ясно, как прав был в свое время ректор лесотехнического института О.М. Соколов, когда помог северянам преодолеть излишнюю скромность и претендовать на статус технического университета. Ныне Архангельск – город трех университетов, и председателем совета ректоров по праву стал руководитель ведущего университета О.М. Соколов.

Не без волнения весь коллектив АГТУ наблюдал за дипломатическими усилиями своего ректора, когда возникла, мягко говоря, малообоснованная идея объединения двух не имеющих ничего общего вузов Архангельска. Общественность города, крупные ученые Москвы и С.-Петербурга поддержали аргументацию О.М. Соколова, и ошибочного решения удалось избежать.

Отягощенный многочисленными административными заботами (не только в своем вузе, но и за его пределами) Олег Михайлович тем не менее ведет большую общественную работу – главный редактор «Лесного журнала», президент Архангельского филиала Северо-Двинского отделения Российской инженерной академии, первый вице-президент, председатель правления Ломоносовского фонда. Много сил и времени он отдает решению социальных проблем.

Рыночная экономика поставила перед высшей школой немало сложных вопросов. Ректор О.М. Соколов успешно преодолевает трудности, находит нестандартные решения в финансовой и хозяйственной деятельности. Три учебных института АГТУ – экономики, финансов и бизнеса; права и предпринимательства; нефти и газа – помогают университету изыскивать средства и делают его еще более универсальным. В духе времени!

Связывать достижения АГТУ с деятельностью его ректора – это не дань традиции. Олег Михайлович является инициатором большинства новых начинаний.

Свой юбилей он встречает в расцвете сил, умудренный опытом. Пожелаем ему здоровья, энтузиазма и успехов в делах, семейного счастья и благополучия.

**Выпускники АЛТИ – АГТУ,
коллеги, единомышленники,
друзья**

Graduates of AFEI–ASTU, colleagues, adherents, friends
Oleg M. Sokolov

УДК 06.091

ПРОФЕССОРУ Г.С. ШУБИНУ – 75 ЛЕТ

28 декабря 2000 г. исполнилось 75 лет Григорию Соломоновичу Шубину – профессору, доктору технических наук, заслуженному деятелю науки и техники РФ, почетному академику РАЕН, академику Международной и российской академии энергоинформационных наук, академику Ньюйоркской академии наук.

Г.С. Шубин в 1951 г. закончил Московский лесотехнический институт (МГУЛ) и был оставлен в аспирантуре. С тех пор он непрерывно работает на кафедре гидротермической обработки древесины (ныне кафедра сушки и защиты древесины) МГУЛ.

Профессор Г.С. Шубин внес большой вклад в ее становление и развитие. Прекрасный лектор, педагог, методист, он написал и издал учебно-методические пособия по всему циклу дисциплин кафедры (общий объем 81 п. л.), что существенно подняло уровень изложения курса в лесотехнических вузах страны.

На протяжении всей своей деятельности Георгий Соломонович ведет большую научно-исследовательскую работу в областях сушки, тепловой обработки древесины и общих проблем теплопереноса. Он является ведущим специалистом по теории, методам расчета и интенсификации сушильно-тепловых процессов в древесине, возглавляет научную школу по этим направлениям, является крупнейшим ученым, получившим мировое признание.

Работы Г.С. Шубина легли в основу исследований закономерностей процессов сушки и нагревания древесины, методов расчета продолжительности этих процессов, теплофизических и массопереносных характеристик древесины, математического описания и компьютеризации процессов теплопереноса, аэродинамики сушильных камер, интенсификации сушильно-тепловых процессов, механизма переноса влаги в древесине, влаго- и теплообмена при сушке и др.

В области сушильно-тепловых процессов в древесине Г.С. Шубиным существенно развиты научные положения сушки и тепловой обработки древесины, создана единая аналитическая теория этих процессов.

В частности, впервые вскрыты закономерности высокоинтенсивных процессов сушки древесины; разработаны математические модели, аналитические и инженерные методы расчета процессов сушки и нагревания (тепловой обработки) древесины различной формы, в том числе с разнородной макроструктурой в виде единичных образцов и в объеме материала.

Это впервые позволило надежно рассчитать процессы в агрегатах; разработать оптимальные технологические режимы конвективной сушки древесины в устройствах различных типов и методы расчета и режимы актуальных нетрадиционных и ускоренных способов сушки древесины в гидрофильных жидкостях, перегретом паре, осциллирующей сушки, радиационно-вакуумной и гелиосушки, а также начальной и кондиционирующей обработок древесины; разработаны рекомендации по оптимизации скорости и характера циркуляции сушильного агента и рационализации распределения воздушных потоков в камере и по штабелям; экспериментально получены необходимые для расчета процессов теплофизические, термодинамические, влаго- и термовлагопроводные, сорбционные характеристики древесины, а также важные характеристики внешнего тепло- и влагообмена в процессе сушки.

Вскрыты закономерности взаимодействия древесины с влагой, даны новые представления о микроструктуре сухой древесины, формах ее связи с влагой, экспериментально доказан и объяснен ранее отвергавшийся самостоятельный перенос

свободной влаги в древесине; разработаны более совершенные методики расчета и проектирования оборудования для сушки и тепловой обработки древесины и др.

В области общих проблем тепломассопереноса Г.С. Шубиным предложены: усовершенствованная система уравнений ТМП, в которой известная система уравнений ТМП А.В. Лыкова дополнена дифференциальными балансовыми уравнениями изменения состояния среды по ходу ее движения в материале при заранее неизвестном законе; при компьютерной реализации решены ряд важных задач, в том числе по расчету процессов ТМП в различных зонах агрегата, продолжительности процессов, распределению температурно-влажностных полей; численно оценена нелинейность дифференциальных уравнений ТМП, получены в критериальном виде данные о границе стадии регулярного режима в одно- и двумерной пластине, критерии фазового перехода, как параметра процесса сушки.

Им исследованы закономерности и разработан общий приближенный аналитический и компьютерный методы расчета процессов ТМП в телах с подвижными границами фазового перехода (пластина и цилиндр); проведено обширное исследование термовлагопроводности в капиллярно-пористых телах.

В работах Г.С. Шубина экспериментально, путем использования лазерной техники, зафиксирован на киноплёнке вынос частиц жидкости в пограничный слой при умеренных скоростях испарения из материала, что внесло ясность в дискутировавшийся длительное время вопрос о влиянии массообмена на теплообмен при сушке (испарении), выводы подтверждены интерферометрическим исследованием в пограничном слое; разработан аналитический и графический методы расчета ТМП (нагревание, сушка, диффузия) в многомерных телах (ограниченная пластина и цилиндр), учитывающие одновременный перенос в них в различных структурных направлениях и анизотропию.

Основные результаты выполненных Г.С. Шубиным технологических исследований доведены до инженерных решений и используются в руководящих технических материалах отрасли, ГОСТах, внедрены в практику проектирования оборудования и непосредственно в производство. Постановлением совместного заседания Совета по ТМП при ГКНТ СССР и Комитета по сушке ВСНТО в 1983 г. было принято решение рекомендовать методы и подходы, разработанные Г.С. Шубиным, для внедрения в различные отрасли народного хозяйства и опубликовать результаты работ в виде монографии в издательстве «Энергия».

Проф. Г.С. Шубин – автор свыше 260 научных работ. Среди книг – известные монографии, вышедшие в издательстве «Лесная промышленность»: «Физические основы и расчет процессов сушки древесины», рекомендованная в качестве учебного пособия для вузов; «Сушка и тепловая обработка древесины»; учебное пособие для вузов «Проектирование установок для гидротермической обработки древесины». Монографии проф. Г.С. Шубина широко используются для подготовки научных кадров в различных отраслях промышленности.

Основные результаты исследований докладывались Г.С. Шубиным на ряде международных конференций. Его работы опубликованы в США, Австрии, Франции, Канаде, Чехословакии, Индии, Словакии. Обширный обзор его работ опубликован в международном сборнике «Сушка твердых тел» (издан в США, Канаде, Индии). Он выступал (в том числе и в качестве проблемного докладчика) на всех широко известных в научном мире и проводимых в Минске конференциях по тепло-массообмену, преобразованных в 1988 г. в международные форумы.

Проф. Г.С. Шубин является членом рабочей группы по сушке древесины Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), членом Комитета по сушке стран СНГ, двух советов по защите диссертаций. В течение

длительного времени, вплоть до расформирования, он был членом комитета ВСНТО по сушке, секции Проблемного совета «Массотеплоперенос в технологических процессах» ГКНТ СССР, секции Проблемного совета «Теоретические основы химической технологии» АН СССР, Координационного совета по сушке Минлесбумпрома СССР. Награжден серебряной медалью РАЕН им. акад. П.Л. Капицы.

Признанием заслуг проф. Г.С. Шубина является включение его биографии в известные международные издания: «Кто есть кто в мире» (США, 16-е изд., 1999 г.), «Выдающиеся люди XX века» (Англия, 2000 г.).

Г.С. Шубин – участник Великой Отечественной войны, командир стрелкового взвода, минометного взвода и роты, награжден четырьмя боевыми орденами и многими медалями.

Коллектив МГУЛ сердечно поздравляет юбиляра, желает ему много здоровья, долгих лет жизни, творческих успехов.

А.Н. Обливин, Ю.П. Семенов

Московский государственный
университет леса

A.N. Oblivin, Yu.P. Semenov
Professor G.S.Shubin is 75 years old

УДК 06.091

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ !

10 декабря 2000 г. исполнилось 60 лет кандидату технических наук, доценту кафедры промышленного транспорта Архангельского государственного технического университета, почетному работнику высшего профессионального образования РФ, академику Академии проблем качества РФ Вячеславу Ивановичу Жабину.

В.И. Жабин уроженец Ульяновской области. После службы в Советской Армии его жизнь с 1963 г. связана с Архангельским государственным техническим университетом: студент лесоинженерного факультета, заведующий лабораторией, аспирант, преподаватель кафедры промышленного транспорта (ранее сухопутного транспорта леса), доцент, с 1982 г. заместитель декана, а с 1985 г. декан заочного факультета. Его характеризуют исключительная добросовестность, ответственное и творческое отношение к делу. Им уделяется большое внимание учебно-методическому совершенствованию дисциплин. Он является одним из основоположников внедрения вычислительной техники в учебный процесс.

Вячеслав Иванович успешно сочетает подготовку кадров с научными исследованиями. Им опубликовано около 70 печатных работ, среди которых «Компьютерное решение задач промышленного автомобильного транспорта» (1999 г.), «Железные дороги промышленных предприятий лесного комплекса» (2000 г.)

Коллектив университета сердечно поздравляет юбиляра и желает ему здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов в работе.

**Ректорат Архангельского
государственного технического университета
Факультет природных ресурсов
Кафедра промышленного транспорта**

Administration of the Arkhangelsk State Technical University, Faculty of Natural Resources, Department of Industrial Transport.

Congratulations on Jubilee!
