

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. В. В. КУЙБИШЕВА

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

# *Лесной журнал*

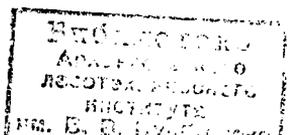
Издается с февраля 1958 г.

Выходит 6 раз в год

2

1989

АРХАНГЕЛЬСК



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Акад. ВАСХНИЛ И. С. Мелехов (гл. редактор), проф. Е. С. Романов (зам. гл. редактора), проф. С. И. Морозов (зам. гл. редактора), проф. Н. М. Белая, доц. Е. М. Боровиков, проф. Ю. Г. Бутко, доц. П. И. Войчаль, проф. И. И. Гусев, проф. Ю. Я. Дмитриев, доц. Г. Л. Дранишников, проф. Р. Е. Қалитеевский, проф. В. Г. Кочегаров, проф. Э. Д. Левин, проф. Н. В. Маковский, доц. Н. В. Никитин, проф. А. Р. Родин, проф. П. С. Серговский, проф. Ю. Д. Силуков, проф. Н. И. Федоров, проф. В. В. Щелкунов.

Ответственный секретарь А. И. Кольцова.

---

«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. Предназначается для научных работников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей вузов и техникумов, студентов старших курсов лесотехнических институтов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 2

---

Ст. редактор Н. П. Бойкова. Редактор З. Ф. Кекишева. Корректор Л. Л. Аксенова.

---

Сдано в набор 04.01.89. Подписано в печать 20.03.89. Сл. 01247.  
Форм. бум. 70 × 108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая,  
Усл. печ. л. 13,075. Усл. кр.-отт. 12,775. Уч.-изд. л. 15,34. Тираж 1600 экз. Заказ 1958,  
Цена 1 р. 40 к.

Архангельский ордена Трудового Красного Знамени лесотехнический институт  
им. В. В. Куйбышева

---

Адрес редакции: 163007, Архангельск, 7, Набережная В. И. Ленина, 17, тел. 4-13-37.

---

Типография издательства «Правда Севера», 163002, г. Архангельск, пр. Новгородский, 32

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*566 : 681.31

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ  
СТРОЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ ПО ДИАМЕТРУ

О. А. АТРОЩЕНКО

Белорусский технологический институт

Известны три типа распределения по диаметру [7]: одновершинное унимодальное, которое наблюдается в чистых разновозрастных древостоях; убывающее J-образное, характерное для смешанных, с большим числом составляющих пород насаждений; многовершинное (многомодальное), имеющее место в разновозрастных и многоярусных насаждениях.

Аналитическое описание одновершинных распределений деревьев по диаметру может быть выполнено тремя способами: [1, 6]: 1) через функции теоретических распределений (нормального, гамма- и бета-распределений, Вейбулла и т. д.); 2) по плотности опытного распределения в виде ряда производных нормального распределения (ряд Грама — Шарлье); 3) обобщенными методами (кривые Пирсона и Джонсона).

Строение чистых разновозрастных сосновых, еловых и березовых насаждений изучали по данным перечислительной таксации древостоев на 450 пробных площадях в возрасте от 10 до 160 лет, Ia—Va классов бонитета с относительной полнотой 0,5...1,0. На ЕС ЭВМ выполнены оценка параметров теоретических распределений, статистический анализ выборочных показателей опытных распределений (среднего квадратичного отклонения ( $\sigma$ ), показателей эксцесса ( $E$ ) и асимметрии ( $A_s$ ), разработаны регрессии связи выборочных показателей и параметров распределений со средним диаметром древостоев [4, 5].

Статистический анализ показал, что стандартные отклонения распределений числа деревьев по диаметру в древостое варьируют с возрастом, условиями произрастания, способом и интенсивностью рубок ухода ( $V = 30 \dots 33 \%$ ). При одинаковых среднем диаметре, числе деревьев (полноте) и размахе распределения  $d_{max} - d_{min}$  средние квадратичные отклонения достоверно не различаются по типам леса (табл. 1).

Таблица 1  
Таксационные и статистические показатели сосновых древостоев

Класс бонитета	Тип леса	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Размах, см	Статистики		
					$\sigma$ , см	$A_s$	$E$
I	Сосняк мшистый	19,8	31,2	6...32	5,1	0,002	-0,694
II	» мшистый	20,1	26,0	6...34	5,5	0,183	-0,215
III	» вересковый	20,1	27,1	10...34	5,1	0,313	-0,538
IV	» осоковый	20,7	23,8	10...34	5,0	0,140	0,371

Оценки выборочных показателей асимметрии и эксцесса распределений варьируют в больших пределах ( $V = 90 \dots 400 \%$ ). Значения этих показателей зависят не только от таксационных признаков дре-

востоев, но и от числа, значения ступеней толщины, количества деревьев в крайних ступенях. Данные перечислительной таксации елового древостоя на стационаре показывают, что при изменении ступени толщины при перечете с 2 на 4 см меняются знаки показателей асимметрии (с  $-0,024$  на  $0,115$ ) и эксцесса (с  $-0,515$  на  $0,077$ ), статистические модели распределений (со II на IV тип кривой Пирсона). Корреляция между средними диаметрами и показателями асимметрии и эксцесса распределений слабая ( $r = 0,3 \dots 0,4$ ).

Исследования показывают, что функции теоретических распределений наиболее приемлемы для создания системы моделирования и прогноза динамики строения древостоев. Статистические модели распределений, от показателей асимметрии и эксцесса которых зависят не только члены уравнения (ряд Грама — Шарлье), но и тип модели (кривые Пирсона), ненадежны, ввиду низкой точности оценки асимметрии и эксцесса по регрессионным моделям связи с таксационными показателями древостоев (относительная ошибка моделей  $20 \dots 40\%$ ).

Статистическая оценка параметров моделей показала, что из 450 опытных распределений 71% согласуется с бета-распределением, 11% — с нормальным, 6% — с логнормальным, 12% — с гамма-распределением. Логнормальное распределение хорошо при небольших положительных асимметрии и эксцессе ( $As, E < 0,5$ ). При отрицательной асимметрии эта модель преуменьшает число маломерных деревьев. Гамма-распределение характерно для диаметров деревьев в насаждениях, не пройденных рубками ухода, и во многих случаях дает результаты, подобные логнормальному.

Наиболее гибким является бета-распределение, имеющее два параметра формы  $\alpha$  и  $\gamma$ :

$$f(d) = C (d - d_{min})^\alpha (d_{max} - d)^\gamma,$$

где  $C$  — коэффициент соответствия площади под кривой распределения общему числу деревьев древостоя;

$d_{min}, d_{max}$  — минимальный и максимальный диаметры деревьев в древостое.

Система моделирования основана на закономерностях строения древостоев, применении бета-распределения, регрессионных моделей связи, алгоритма вычисления таксационных показателей древостоя [5]. Выборочными или глазомерно-измерительными методами таксация без сплошного перечета деревьев оценивают возраст ( $A$ ), сумму площадей сечений ( $G$ ), средний диаметр ( $D$ ) и высоту ( $H$ ), класс бонитета ( $H/100$ ), минимальный ( $d_{min}$ ) и максимальный ( $d_{max}$ ) диаметры деревьев.

По регрессионной модели связи оценивают среднее квадратичное отклонение ( $\sigma_d$ ) распределения числа деревьев по диаметру в древостое. Для сосновых древостоев модель имеет вид

$$\sigma_d = 0,76 + 0,05D + 0,12 (d_{max} - d_{min}).$$

Проверка модели на данных перечислительной таксации 35 древостоев показала максимальные отклонения в оценках стандартных отклонений  $\pm 1,5$  см, среднюю квадратичную ошибку  $\pm 10,9\%$ . Параметры формы бета-распределения ( $\alpha, \gamma$ ) вычисляют через средний арифметический диаметр ( $\bar{D}$ ) и дисперсию ( $\sigma_d^2$ ) распределения по алгоритму, предложенному Ф. Зехрером [2]. Последовательной итерацией, изменяя форму и размах кривой распределения, выбирают теоретическую бета-функцию, лучше подходящую опытному распределению.

Модели связи диаметров и высот деревьев разработаны по данным таксации 1 500 модельных деревьев. Исследованы уравнения параболического, логарифмического и экспоненциального типов. Хорошие результаты получены по уравнениям Корсуня и Г. Бакмана [3]. Для сосновых древостоев найдена модель

$$h = -0,05 + 0,41d - 0,32D + 0,82H + 0,418D/H.$$

Проверка модели на контрольных пробных площадях показала максимальные абсолютные отклонения  $\pm 1,2$  м, среднюю квадратичную ошибку  $\pm 2,9$  %. Модель видовой высоты ( $hf$ ) создана по данным перечислительной таксации сосновых древостоев на 655 пробных площадях

$$hf = 1,1416 + 0,416h - 0,581hd^{-2} + 0,0086H100,$$

где  $d, h$  — диаметр и высота деревьев;

$H100$  — индекс класса бонитета, согласно общепониманной шкале М. М. Орлова.

Регрессия достоверна, коэффициенты значимы на 5 %-м уровне, модель объясняет 98 % вариации видовых высот деревьев с относительной ошибкой  $\pm 10$  %.

Для маломерных стволов сосны ( $d \leq 6$  см) видовые числа находят по модели

$$f = 0,44 + 1,13/h.$$

В зависимости от среднего диаметра древостоя оценивают значение ступени толщины, по теоретической бета-функции получают распределение числа деревьев, по регрессиям связи — средние высоты, видовые числа и объемы стволов по ступеням толщины. Программа «Строение» составлена на языке ФОРТРАН-IV в ОС ЕС ЭВМ. Выход — перечень деревьев и таксационные показатели древостоя. Система позволяет имитировать строение чистых одновозрастных сосновых, еловых и березовых древостоев [5]. Сравнение выхода имитационной модели «Строение» с данными перечислительной таксации сосновых древостоев на 35 контрольных пробных площадях показало, что относительные ошибки в оценках средних диаметров древостоев составляют от  $+0,9$  до  $-0,5$  %, средних высот  $+7,8$  до  $-4,8$  %, сумм площадей сечений  $+2,0$  до  $-0,8$  %, запасов  $+5,3$  до  $-4,4$  %. При  $\pm 5$  %-й точности таксации суммы площадей сечений древостоя средняя квадратичная ошибка в оценках запасов древостоев составила  $\pm 5,9$  %, а при  $\pm 10$  %-й точности ошибка по запасам  $\pm 10,7$  % с максимальным отклонением оценок  $\pm 11 \dots 16$  %.

Система моделирования строения древостоев позволит решать различные практические задачи.

Для материально-денежной оценки запасов древостоев разработана имитационная модель «Лесосека» [5]. Ее основу составляет программа «Строение» и регрессии связи объема крупной ( $V_{кр}$ ), процента средней ( $P_{ср}$ ) и мелкой ( $P_m$ ) деловой древесины с диаметром ( $d$ ), высотой ( $h$ ) и объемом ( $V$ ) ствола, полученные по данным сортиментных таблиц Ф. П. Моисеенко в виде:  $V_{кр} = \varphi(V, \lg^2 d)$ ,  $\lg P_{ср} = \varphi(d, h, \lg d)$ ;  $\lg P_m = \varphi(d, h, \lg V)$ . Вводом в модель являются данные глазомерно-измерительной таксации древостоев: возраст, сумма площадей сечений, средние диаметр и высота, класс бонитета, максимальный и минимальный диаметры деревьев, процент деловых деревьев. Выход — распределение числа деревьев по ступеням толщины, деловой древесины по категориям крупности, объемы дров и отходов. Для оценки надежности модели сравнивали результаты перечисли-

тельной таксации 10 лесосек главного пользования общей площадью 9,3 га в сосновых лесах с данными материально-денежной оценки запасов модели на ЭВМ (табл. 2).

Максимальные отклонения по выходу относятся к малым величинам. Например, фактический выход крупной деловой древесины на лесосеке составил 6,5 м<sup>3</sup>, а на ЭВМ оценен — 7,8 м<sup>3</sup>, т. е. отклонение равно + 20 %.

Таблица 2

Точность оценки выхода деловой древесины по категориям крупности на ЭВМ

Древесина	Отклонения, %				Средняя квадратичная ошибка, %
	максимальные		минимальные		
	+	-	+	-	
Деловая:					
крупная	20,0	27,6	5,5	19,0	17,9
средняя	10,0	18,3	0,5	1,6	9,1
мелкая	42,9	19,0	6,0	1,7	24,7
Итого деловой	10,8	17,1	0,3	2,2	8,7
Ликвид	10,6	0,6	0,1	0,6	4,9
Общий запас	5,1	0,9	1,2	0,9	2,9

В целом по модели «Лесосека» получены удовлетворительные результаты: средние квадратичные ошибки в оценках объемов деловой древесины ± 8,7 %, ликвидной ± 4,9 %, общего запаса ± 2,9 %. Общий объем всей деловой древесины 10 лесосек по модели отличается от фактического выхода по данным перечислительной таксации на 12 м<sup>3</sup> (- 0,7 %), ликвидной древесины — на 66 м<sup>3</sup> (+ 3,7 %), а общая таксовая стоимость древесины — на 64 р. (- 0,3 %). Таким образом можно решать задачу материально-денежной оценки лесосек главного пользования по материалам лесоустройства в лесах II группы без трудоемких работ по сплошному перечеу деревьев.

Разработана имитационная модель «Диаметр» для составления таблиц распределения числа деревьев по ступеням толщины применительно к таблицам хода роста древостоев. Входом являются данные таблиц хода роста: возраст, сумма площадей сечения, средние диаметр и высота, число деревьев и запас древесины. Основу модели составляет модель «Строение» и регрессии связи  $d_{max} = \varphi(A, G, D, H)$ ;  $\ln(d_{max} - d_{min}) = \varphi(\ln A, \ln G, \ln(D + 20), \ln H)$  100. По материалам выборочной, перечислительной и глазомерно-измерительной таксации сосновых лесов Белоруссии составлены таблицы производительности сосновых древостоев по типам леса (табл. 3).

Таблица 3

Производительность сосновых древостоев (сосняк черничный)

Возраст, лет	Древостой					Отпад				
	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число деревьев, шт.	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Запас, м <sup>3</sup>	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число деревьев, шт.	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Запас, м <sup>3</sup>
20	10,3	8,5	4 542	25,7	144	4,8	4,1	7 021	9,2	29
40	17,8	15,8	1 647	32,3	284	12,1	11,3	878	8,8	52
60	22,9	22,5	893	35,6	388	17,5	17,0	284	6,5	51
80	26,5	28,9	576	37,7	467	21,7	21,6	130	4,8	46

По модели «Диаметр» к таблицам производительности древостоев на ЭВМ получены таблицы распределения или строения древостоев по диаметру (табл. 4).

Таблица 4

Динамика строения сосновых древостоев по диаметру

Возраст, лет	Начальная ступень, см	Величина ступени, см	Ступени толщины, см											
			8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52
Древостой														
20	2	2	236	657	918	999	896	623	212	—	—	—	—	—
40	4	2	8	51	112	172	219	246	248	225	171	120	57	9
60	8	4	9	77	162	215	209	149	65	7	—	—	—	—
80	12	4	—	5	35	76	108	121	110	78	38	5	—	—
Отпад														
20	1	1	974	1283	1301	1184	984	727	435	133	—	—	—	—
40	4	2	29	99	153	179	174	140	83	21	—	—	—	—
60	8	4	1	76	111	77	19	—	—	—	—	—	—	—
80	12	4	—	10	29	36	32	19	4	—	—	—	—	—

Моделирование на ЭВМ показало, что результаты по модели «Диаметр» практически одинаковы с данными таблиц хода роста: 1) число деревьев совпадает точно, так как это заложено в алгоритме программы; 2) средние диаметры различаются на 0,1...0,2 см; 3) максимальные отклонения по средним высотам ±0,5...1,0 м; 4) суммы площадей сечений разнятся на 0,1...0,3 м<sup>2</sup>; 5) отклонения по запасу до ±5 %.

Имитационная система моделирования строения древостоев позволяет решать практические задачи оценки динамики товарности на оборот рубки, оптимизации сортиментной структуры древостоев, имитации рубок ухода, разработки моделей производительности эталонных насаждений.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Атрощенко О. А. Кривые распределения деревьев по диаметру в березовых древостоях // Лесоведение и лесное хозяйство.— Мн., 1976.— Вып. 12.— С. 104—110. [2]. Атрощенко О. А. Аналитическое описание распределений деревьев по диаметру с помощью бета-функции // Лесоведение и лесное хозяйство.— Мн., 1979.— Вып. 14.— С. 70—75. [3]. Атрощенко О. А. Регрессионные модели связи диаметров и высот деревьев в березовых древостоях // Лесоведение и лесное хозяйство.— Мн., 1982.— Вып. 17.— С. 77—80. [4]. Атрощенко О. А. Применение ЭВМ в лесохозяйственных исследованиях и дипломном проектировании: Методич. пособие. Ч. 1.— Мн., 1985.— 66 с. [5]. Атрощенко О. А. Система моделирования и прогноза роста древостоев (на примере БССР): Дис... докт. с.-х. наук. Т. 1.— Мн., 1986.— 442 с. [6]. Богачев А. В., Свалов С. Н. Методы таксации лесного и лесосечного фонда // Методы учета и прогноза лесных ресурсов.— М., 1978.— С. 8—97. [7]. Loetsch F., Zöhner F., Haller K. Forest inventory. Vol. 2.— München, 1975.— 417 p.

Поступила 13 апреля 1987 г.

УДК 581.19

## АЭРОФОЛИНЫ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

В. А. КРЮЧКОВ, Г. Н. НОВОСЕЛОВА, Т. Н. СУМЕНКОВА,  
И. П. СТЕПАНОВА, Н. В. МАРИНА

Уральский лесотехнический институт

Уникальной особенностью всех растений является постоянное выделение в окружающую среду летучих веществ — аэрофолитов. Однако из комплекса средообразующих функций, выполняемых лесом, имеющих существенное экологическое, возможно глобальное значение, именно эта особенность растений наименее изучена.

В настоящем сообщении рассмотрена активность основных лесобразующих пород и некоторых типов леса Среднего Урала по продуцированию терпенов и альдегидов, обладающих бактерицидным действием [4], кумаринов, для которых известно регулярное [7], антимулагенное [9], антимикробное [3] действие.

Исследования проводили в лесных фитоценозах Уральского учебно-опытного лесхоза (подзона южной тайги). Пробные площадки закладывали в характерных для участка условиях внутри исследуемого массива, который подбирали с таким расчетом, чтобы район не был подвержен влиянию промышленных загрязнений. Таксационные и геоботанические исследования выполнены в соответствии с общепринятыми методами лесной таксации, лесоведения, геоботаники, экспериментальной экологии (табл. 1).

Таблица 1

Описание типов леса Уральского учебно-опытного лесхоза

Тип леса	Описание
Сосняк разнотравный	Состав 4С6Б, ед. Лц (150). Класс бонитета II, ярус I, средняя высота 21 м, возраст 60 лет, полнота 0,7. Подрост 6С2Лц2Е (15), высота 1,5 м. Подлесок средней густоты. Живой напочвенный покров густой: разнотравье
» осоково-сфагновый	Заболоченный участок. Оз. Песчаное. Состав 7С3Б. Класс бонитета IV, средняя высота 8 м, класс возраста IV, полнота 0,7. Подрост 7С3Б, редкий. Подлесок редкий: ива. Живой напочвенный покров: осоки, мхи
» ягодниковый	Северо-западный склон. Состав 7С1Лц2Б. Класс бонитета II, ярус I, высота 24 м, класс возраста V—VI, полнота 0,7. Подрост 6С3Лц1Е, 300 шт./га. Подлесок средней густоты: ракитник, шиповник, липа. Живой напочвенный покров: земляника, костяника, черника
Ельник осоково-сфагновый	Болотистая низина между возвышенностями. Состав 6Е1С3Б. Класс бонитета V, ярус I, высота 17 м, возраст Е—130, Б—80, полнота 0,8. Подрост 8Е2С, 2000 шт./га. Подлесок редкий: можжевельник, рябина. Живой напочвенный покров: осоки, мхи
Березняк осоковый	Местоположение ровное, влажное. Состав 7Б2С1Лп. Класс бонитета II, средняя высота 20 м, возраст 55 лет, полнота 0,7. Подрост 10Е (15), 1500 шт./га. Подлесок средней густоты: липа, рябина, ракитник

Пробы воздуха в количестве 100 л отбирали с помощью аспиратора со скоростью 30 л/ч. Для конденсации аэрофолитов использовали метод избирательного химиче-

ского связывания компонентов: кумаринов — водноспиртовым раствором гидроксида натрия, формальдегида — водноспиртовым раствором аммиака, суммы альдегидов — водным раствором сульфата натрия, терпенов — водным раствором трихлоруксусной кислоты. Методика количественного определения кумаринов основана на их способности образовывать окрашенные соединения с диазотированным *n*-нитроанилином [1], формальдегида — на реакции с хромотроповой кислотой [6], суммы альдегидов — на способности образовывать гидразоны с 2, 3-динитрофенилгидразином [2], терпенов — на реакции с фосфорномолибденовой кислотой [8].

При сравнительном изучении аэрофолиной активности основных лесобразующих пород установлено, что сосна, ель и лиственница характеризуются повышенной способностью продуцировать терпены. В атмосферу выделяется от 5 до 16 % терпенов от их количества в хвое, причем наибольшей аэрофолиной активностью обладает хвоя верхней части кроны. Максимальное продуцирование терпенов наблюдается в фазах основного роста и окончания ростовых процессов.

Выделение формальдегида особенно характерно для лиственных пород, хотя присутствие его обнаружено в воздушной среде хвойных. Он появляется во время массового распускания листьев, его количество достигает максимума в фазе молодого сформировавшегося листа, в выделениях почек формальдегид не обнаружен. Некоторое увеличение наблюдается в период цветения и осенью, когда в старых отмирающих листьях происходит автолиз, разложение структурных веществ в клетках, что вызывает усиленное выделение летучих соединений. Иногда, в результате неблагоприятных климатических условий запаздывает развитие растений, и к концу сентября некоторые из них имеют незасохшие зеленые листья. После действия низких температур (до  $-2^{\circ}\text{C}$ ) в этих листьях происходит выброс формальдегида. По-видимому, здесь нарушается процесс синтеза сложных органических соединений, и избыток формальдегида, являющегося первым продуктом ассимиляции углерода растениями, выбрасывается в окружающую среду.

В онтогенезе растений наблюдается два пика выделения альдегидов: первый — в период цветения, второй — в летний период (конец июля — начало августа).

Наибольшее содержание кумаринов в составе аэрофолинов растений приходится на июль — период основного роста и цветения растений и сентябрь — период листопада и разложения опада.

Количество аэрофолинов, выделяемых растениями, изменяется не только в течение вегетационного периода, но имеет и суточную динамику. Минимальное их содержание наблюдается в утренние часы, максимальное — в дневные, что связано с состоянием устьичного аппарата: чем шире открыты устьица, тем больше выделяется аэрофолинов.

Некоторые авторы [5] отмечают коррелятивную зависимость между температурой и количеством летучих метаболитов, а также влажностью и количеством летучих веществ. Однако применение корреляционно-регрессионных методов для количественной оценки связи концентрации аэрофолинов (кумарины, терпены, альдегиды) и температуры или влажности показало отсутствие линейной зависимости. По-видимому, необходим поиск типа зависимостей, точнее выражающих эти связи.

Закономерности выделения летучих соединений отдельными особями характерны и для фитоценоза в целом (табл. 2). Так, трехлетние исследования, проведенные в сосновых и еловых древостоях, показали, что максимальное содержание терпенов в сосняке разнотравном отмечалось в период активных ростовых процессов ( $2,6 \text{ мг/м}^3$ ), в сосняке ягодниковом и ельнике — в период окончания ростовых процессов ( $1,6 \dots 2,2 \text{ мг/м}^3$ ). В осенний период содержание терпенов снижается, но в сосняках остается достаточно высоким даже в октябре. Общее количество терпеновых углеводов, выделяемых в атмосферу в те-

Таблица 2

Содержание аэрофилинов в воздушной среде различных типов леса

Тип леса	Кумарины	Формальдегид	Альдегиды	Терпены, мг/м <sup>3</sup>
	мкг/м <sup>3</sup>			
Сосняк разнотравный	5,84	6,63	36,93	1,53
» осоково-сфагновый	5,51	5,68	35,83	—
» ягодниковый	5,78	6,47	33,87	1,07
Ельник осоково-сфагновый	10,62	7,58	30,23	0,79
Березняк осоковый	5,44	6,03	42,93	—

чение вегетационного периода, составило в сосновых насаждениях 370...450, в еловых — 320...415, березовых — 190...220 кг/га.

Повышенным содержанием летучих кумаринов характеризуется ельник осоково-сфагновый, в воздушной среде которого концентрация кумаринов составляет 10,6 мкг/м<sup>3</sup>, в других исследованных типах леса от 5,4 до 5,8 мкг/м<sup>3</sup>.

По продуцированию альдегидов исследованные типы леса располагаются в следующем порядке: березняк осоковый, сосняк разнотравный, осоково-сфагновый, ягодниковый, ельник осоково-сфагновый.

Концентрация формальдегида в воздухе всех типов леса одинакова.

Уровень биологической активности насаждений и их воздействие на процессы, протекающие в биосфере, суммарно зависят от класса бонитета, сомкнутости насаждений. Анализ воздуха березняка разнотравного в древостое двух возрастов показал, что содержание формальдегида неодинаково: в молодом древостое выше (6,6 мкг/м<sup>3</sup>), чем в спелом (0,8 мкг/м<sup>3</sup>), поскольку застой воздуха в нем сильнее из-за большей облиственности растений. Количество терпенов в воздухе сосняка разнотравного выше, чем в сосняке ягодниковом, что также объясняется сомкнутостью насаждений и лучшим состоянием подроста.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Изучение лечебных плодов и ягод: Отчет заключительный / Урал. лесотехн. ин-т (УЛТИ); Науч. руководитель В. А. Крючков.—1—БАВ—69; № ГР 70000463; Инв. № Б925542.—Свердловск, 1980.—189 с. [2]. Перегуд Е. А., Гернет Е. В. Химический анализ воздуха промышленных предприятий.—Л.: Химия, 1973.—440 с. [3]. Перспективы поисков антимикробных и противовирусных препаратов среди кумаринов / С. А. Вичканова, М. А. Рубинчик, А. А. Адгина и др. // 2-й симпозиум по изучению кумаринов: Тез.докл.—Л., 1970.—С. 80—81. [4]. Скворцов С. С. Динамика выделения общего количества летучих веществ и компонентов альдегидной природы // Фитонциды.—Киев: АН СССР, 1960.—С. 23—27. [5]. Степанов Э. В. Количество летучих органических веществ в пихтовых лесах Салаира // Лесоводственные исследования в Западной Сибири.—Новосибирск, 1972.—С. 41—44. [6]. Файль Ф. Капельный анализ органических веществ.—М.: Госхимиздат, 1962.—836 с. [7]. Чернобровкина Н. П., Кефели В. И. Покой, рост и их природные регуляторы в почках и семенах карельской березы // Физиология растений.—1975.—Т. 22.—С. 1013—1020. [8]. Щеголев А. А. Изучение скипидара в составе летучих выделений хвойных растений // VIII совещание по проблеме фитонцидов.—Киев: Наукова думка, 1979.—С. 50. [9]. Grigg G. W. Genetic effects of coumarins // Mutat. Res.—1978.—N 3—4. P. 161—181.

Поступила 3 мая 1988 г.

УДК 630\*566

## РОСТ СОСНОВЫХ КУЛЬТУР В СТЕПНОЙ ЗОНЕ

В. А. БУГАЕВ, Ю. Э. ПАПЕЖ

Воронежский лесотехнический институт

В степной зоне РСФСР (южная часть Воронежской области и северные районы Ростовской) культуры сосны имеют предельный возраст от 50 до 60 лет. Насаждения созданы преимущественно на открытых площадях. Почвы легкие, супесчаные. Тип условий местопроизрастания  $A_2$  и  $A_1$ , классы бонитета I—III. Рельеф ровный. Посадка осуществлена только сеянцами сосны рядами, густотой от 9 до 10 тыс. шт./га. В таксационном отношении указанные культуры изучены недостаточно. Для них нет таблиц хода роста. Этот пробел восполняется таблицами, составленными нами. Исходным материалом послужили данные 65 пробных площадей, распределенных равномерно по классам бонитета. Кроме того, взято необходимое число модельных деревьев.

Вычисленный коэффициент корреляции между значениями высот по бонитетам и типам лесорастительных условий составил для I класса бонитета ( $A_2$ ) — 0,985, для II ( $A_2$ ) — 0,993, для III ( $A_1$ ) — 0,984. Это показывает высокую корреляционную связь и согласованность хода роста в высоту культур сосны в типе  $A_2$  с ходом роста по I и II классам бонитета и в типе  $A_1$  по III классу. Дисперсионный анализ подтвердил наличие тесной связи между группой типов леса и классом бонитета. Показатель достоверности коэффициента корреляции зависимости высоты от возраста по классам бонитета оказался равным: для I класса — 994,498; для II — 1 295,647, для III — 526,841. Корреляционное отношение для I класса бонитета — 0,987, для II — 0,992, для III — 0,984. Достоверность корреляционного отношения составила для I класса бонитета — 1 042,403, для II — 1 358,225, для III — 530,213.

Таблица 1

Относительные размеры среднего дерева выбираемой части насаждения в культурах сосны

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Видовое число	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Видовое число
5	0,60	0,31	1,34	40	0,84	0,65	1,03
10	0,65	0,37	1,28	45	0,86	0,68	1,02
15	0,69	0,43	1,22	50	0,87	0,70	1,02
20	0,73	0,48	1,16	55	0,88	0,71	1,02
25	0,76	0,53	1,10	60	0,89	0,72	1,02
30	0,79	0,58	1,05	65	0,90	0,73	1,02
35	0,82	0,62	1,04				

Корреляционная связь высоты и возраста позволяет составить таблицы хода роста культур. Первоначально были рассчитаны уравнения зависимости средней высоты от возраста по классам бонитета:

для I класса бонитета

$$y = -0,0016691x^2 + 0,43157x + 0,81789;$$

для II класса бонитета

$$y = -0,00092749x^2 + 0,37256x + 0,30329;$$

для III класса бонитета

$$y = -0,0010146x^2 + 0,30477x - 0,22718.$$

Графоаналитическим способом получили значения средних высот и диаметров, суммы площадей сечений и запаса применительно к отдельным 5-летним периодам жизни насаждений. Значения числа стволов и видовых чисел графическому выравниванию не подвергали, а находили математически на основе существующих зависимостей между таксационными признаками.

Вычисленные показатели характеризуют основную часть насаждения. Для получения общих данных о ходе роста необходимо иметь характеристику выбираемой части. Последнюю определяли на основании соотношения отдельных признаков (табл. 1).

## Ход роста культур сосны

Возраст, лет	Основная часть						Прирост, м <sup>3</sup>	
	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Число стволов на 1 га, шт.	Видовое число	Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup>	Прирост, м <sup>3</sup>	
							средний	текущий
Класс бонитета I								
5	2,1	1,5	1,7	9 625	1,120	4	0,8	—
10	4,3	3,8	9,7	8 557	0,815	34	3,4	6,0
15	6,4	6,2	17,1	5 700	0,621	68	4,5	6,8
20	8,4	8,5	22,6	3 985	0,564	107	5,4	7,8
25	10,3	10,6	27,0	3 061	0,532	148	5,9	8,2
30	12,1	12,6	30,2	2 423	0,515	188	6,3	8,0
35	13,8	14,5	33,0	1 999	0,499	227	6,5	7,8
40	15,4	16,2	35,1	1 704	0,485	262	6,6	7,0
45	16,8	17,7	36,7	1 492	0,480	296	6,6	6,8
50	18,1	19,1	38,1	1 330	0,477	329	6,6	6,6
55	19,4	20,3	39,2	1 212	0,475	361	6,6	6,4
60	20,6	21,4	40,2	1 118	0,473	392	6,5	6,2
65	21,7	22,4	41,1	1 044	0,471	421	6,5	5,8
Класс бонитета II								
5	1,6	0,8	0,5	9 952	1,125	0,9	0,2	—
10	3,6	3,0	6,6	9 342	0,926	22	2,2	4,2
15	5,5	5,2	13,9	6 548	0,680	52	3,5	6,0
20	7,3	7,1	19,3	4 877	0,610	86	4,3	6,8
25	9,0	8,9	23,5	3 779	0,572	121	4,8	7,0
30	10,6	10,6	26,5	3 004	0,548	154	5,1	6,6
35	12,1	12,2	29,2	2 499	0,524	185	5,3	6,2
40	13,5	13,7	31,2	2 118	0,508	214	5,4	5,8
45	14,8	15,1	32,6	1 821	0,500	241	5,4	5,4
50	16,0	16,4	33,8	1 601	0,492	266	5,3	5,0
55	17,1	17,5	34,8	1 445	0,487	290	5,3	4,8
60	18,1	18,5	35,7	1 329	0,484	313	5,2	4,6
65	19,0	19,4	36,5	1 235	0,481	335	5,2	4,4
Класс бонитета III								
5	0,5	0,5	0,2	10 191	1,200	0,12	0,02	—
10	2,3	2,4	4,5	9 952	0,957	11,0	1,1	2,2
15	4,0	4,2	10,0	7 222	0,750	30,0	2,0	3,8
20	5,6	5,9	14,6	5 343	0,685	56	2,8	5,2
25	7,1	7,5	18,3	4 144	0,647	84	3,4	5,6
30	8,5	9,0	21,0	3 303	0,616	110	3,7	5,2
35	9,8	10,4	23,2	2 732	0,589	134	3,8	4,8
40	11,0	11,7	24,9	2 317	0,570	156	3,9	4,4
45	12,1	12,9	26,2	2 007	0,555	176	3,9	4,0
50	13,1	14,0	27,3	1 774	0,543	194	3,9	3,6
55	14,0	15,0	28,2	1 597	0,532	210	3,8	3,2
60	14,8	15,9	29,0	1 461	0,522	224	3,7	2,8
65	—	16,7	29,7	—	0,513	236	3,6	2,4

Полученные данные об изменении таксационных показателей основной и выбираемой частей насаждения с возрастом сведены в табл. 2, которая характеризует рост культур сосны.

Составленные нами таблицы сравнивали с данными В. И. Рубцова [2] и А. В. Тюрина [1]. Первый изучал культуры сосны лесостепи в регионе, примыкающем с севера к району нашей работы; приведены его показатели для культур, произрастающих в типе А<sub>2</sub>. Данные А. В. Тюрина относятся к соснякам естественного происхождения. Сравнению подлежали: средняя высота, поскольку она связана непосредственно с классом бонитета; видовое число, отражающее форму и полнодревес-

Таблица 2

степной зоны

Выбираемая часть						Все насаждение			
Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число стволов на 1 га, шт.	Видовое число	Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup>	Сумма промежуточного пользования, м <sup>3</sup>	Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup>	Прирост, м <sup>3</sup>		
							средний	текущий	
(А <sub>2</sub> )									
1,3	0,5	375	1,501	—	—	4	0,8	0,8	
2,8	1,4	1 068	1,043	0,5	0,5	35	3,5	6,2	
4,4	2,7	2 857	0,758	5,5	6,0	74	4,9	7,8	
6,1	4,1	1 715	0,654	9,0	15,0	122	6,1	9,6	
7,8	5,6	924	0,585	10,0	25,0	173	6,9	10,2	
9,6	7,3	638	0,541	12,0	37,0	225	7,5	10,4	
11,3	7,8	424	0,519	14,0	51,0	278	7,9	10,6	
12,9	10,5	295	0,500	16,0	67,0	329	8,2	10,2	
14,5	12,0	212	0,490	17,0	84,0	380	8,4	10,2	
15,8	13,4	162	0,487	17,0	101,0	430	8,6	10,0	
17,1	14,4	118	0,485	16,0	117,0	478	8,7	9,6	
18,3	15,4	94	0,483	15,0	132,0	524	8,7	9,2	
19,5	16,4	74	0,480	15,0	147,0	568	8,7	8,8	
(А <sub>2</sub> )									
1,0	0,3	48	1,508	—	—	0,9	0,2	0,2	
2,3	1,1	610	1,185	0,2	0,2	22	2,2	4,2	
3,8	2,2	2 794	0,830	3,4	3,6	56	3,7	6,8	
5,3	3,4	1 671	0,702	5,6	9,2	95	4,8	7,8	
6,8	4,7	1 098	0,629	8,1	17,0	138	5,5	8,6	
8,4	6,1	775	0,575	11,0	28,0	182	6,1	8,8	
9,9	7,6	505	0,545	12,0	40,0	225	6,4	8,6	
11,3	8,9	381	0,523	14,0	54,0	268	6,7	8,6	
12,7	10,3	297	0,510	16,0	70,0	311	6,9	8,6	
13,9	11,5	220	0,502	16,0	86,0	352	7,0	8,2	
15,1	12,4	156	0,497	14,0	100,0	390	7,1	7,6	
16,1	13,3	116	0,494	13,0	113,0	426	7,1	6,8	
17,1	14,2	94	0,491	12,0	125,0	460	7,1	6,8	
(А <sub>1</sub> )									
0,3	0,2	—	1,608	—	—	0,1	0,02	0,02	
1,5	0,9	248	1,225	—	—	11	1,1	2,2	
2,8	1,8	2 730	0,915	1,8	1,8	32	2,1	4,2	
4,1	2,8	1 879	0,795	3,8	5,6	62	3,1	6,0	
5,4	4,0	1 199	0,712	5,8	11,0	95	3,8	6,6	
6,7	5,2	841	0,647	7,7	19,0	129	4,3	6,8	
8,0	6,5	571	0,613	9,3	28,0	162	4,6	6,6	
9,2	7,6	415	0,587	10,0	38,0	194	4,9	6,4	
10,4	8,8	310	0,566	11,0	49,0	225	5,0	6,2	
11,4	9,8	233	0,554	11,0	60,0	254	5,1	5,8	
12,3	10,7	177	0,543	11,0	71,0	281	5,1	5,4	
13,2	11,5	136	0,532	10,0	81,0	305	5,1	4,8	
14,0	12,2	104	0,523	9,0	90,0	326	5,0	4,2	

Таблица 3  
Показатели роста сосновых насаждений по данным разных авторов

Класс бонитета	Возраст, лет	Высота, м			Видовое число		Стволовой запас, м <sup>3</sup>			Запас всего насаждения, м <sup>3</sup>			
		Наши данные	В. И. Рубцова	А. В. Тюрина	Наши данные	В. И. Рубцова	А. В. Тюрина	Наши данные	В. И. Рубцова	А. В. Тюрина	Наши данные	В. И. Рубцова	А. В. Тюрина
I	20	8,4	7,7	8,4	0,564	0,536	0,492	107	97	91	122	136	96
	40	15,4	14,4	16,2	0,485	0,507	0,466	262	250	267	329	369	352
	60	20,6	18,3	22,4	0,473	0,500	0,456	392	340	426	524	539	603
II	20	7,3	—	7,2	0,610	—	0,517	86	—	72	95	—	72
	40	13,5	—	14,0	0,508	—	0,490	214	—	208	268	—	288
	60	18,1	—	19,5	0,484	—	0,478	313	—	332	426	—	499
III	20	5,6	—	5,6	0,685	—	0,541	56	—	52	62	—	52
	40	11,0	—	11,7	0,570	—	0,502	156	—	154	194	—	222
	60	14,8	—	16,5	0,522	—	0,490	224	—	251	305	—	405

нем «старении» сосновых культур степной зоны, причем с ухудшением лесорастительных условий этот период наступает в более молодом возрасте.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Козловский В. Б., Павлов В. М. *Ход роста основных лесобразующих пород СССР: Справочник.* — М.: Лесн. пром-сть, 1967. — 327 с. [2]. Рубцов В. И. *Культуры сосны в лесостепи.* — М.: Лесн. пром-сть, 1969. — 288 с.

ность ствола; запас основной части и всего насаждения, выражающие продуктивность древесной массы (табл. 3).

Сосновые культуры в степи в типе А<sub>2</sub> относятся к I классу бонитета. Аналогичные насаждения, по данным В. И. Рубцова, приурочены к промежуточному положению между I и II классами бонитета. Для культур характерна большая полндревесность, чем в естественных лесах. Показатели культур степной зоны в молодом возрасте (20 лет) превышают естественные сосняки; к 40-летнему возрасту они выравниваются, а затем уступают последним. Описанное дает основание считать, что сосновые культуры в условиях степи вначале растут энергично, но уже к 50 годам наблюдаются признаки притупления роста. Об этом же свидетельствует изменение среднего прироста с возрастом, которое характеризует наступление количественной спелости. В культурах степной зоны кульминация прироста, а следовательно, возраст количественной спелости наблюдается в 45...50 лет, по А. В. Тюрину в 60...70 лет. Интересно отметить, что в культурах I класса бонитета этот период относится к 50 годам, а III класса — к 45 годам. В естественных сосняках, наоборот, в более низких классах бонитета кульминация прироста происходит позднее. Отсюда вывод о более ран-

Поступила 8 сентября 1987 г.

УДК 630\*160.21 : 674.032

## СОДЕРЖАНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В ХВОЕ ПОДРОСТА ЕЛИ И ПИХТЫ В УСЛОВИЯХ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ СИБИРИ

Г. П. САФРОНОВА

Сибирский технологический институт

Основные лесообразующие породы темнохвойных лесов Сибири — пихта сибирская (*Abies sibirica* Ldb.) и ель сибирская (*Picea obovata* Ldb.). Ель в Сибири редко образует чистые насаждения, в южных районах растет вместе с пихтой и кедром. Пихта сибирская отличается довольно узкой экологической амплитудой по сравнению с елью, однако на богатых почвах вытесняет ее [7]. Сравнительное изучение этих пород представляет значительный интерес.

Исследование содержания основных макроэлементов в хвое ели и пихты проведено в условиях темнохвойных равнинных лесов (Козульский лесхоз Красноярского края) и предгорий Восточного Саяна (учебно-опытный лесхоз СТИ). Изучали хвою подроста ели и пихты высотой 0,5...0,7 м. Образцы брали в I декаде сентября с 10 модельных экземпляров подроста, с которых срезали часть боковых побегов текущего года. Параллельно отбирали смешанные почвенные пробы. Анализы почвенных и растительных образцов выполнены Красноярской краевой агрохимлабораторией.

Отбор образцов проводили не только в географически удаленных районах, но и в пределах одного района при разных экологических факторах: степень освещенности, расположение (под пологом древостоев, на зарастающих вырубках, на участке культур сосны обыкновенной), почвы (с pH от 4,3 до 7,2).

В Козульском лесхозе образцы отбирали с участков старых вырубок в темнохвойных лесах, в значительной степени возобновившихся березой и осинкой. Почвы дерново-подзолистые суглинистые, подстилаемые покровными глинами. За верхним аккумулятивным горизонтом мощностью около 30 см расположен неравномерно оподзоленный горизонт А<sub>2</sub>В. В Бирюсинском лесничестве учебно-опытного лесхоза СТИ изучали естественное возобновление ели и пихты под пологом леса и на участке несомкнувшихся культур сосны (из-за низкорослости пихты на этом участке изучали ее растения высотой до 0,5 м).

Насаждение состава 7П2Е1К, ед. С полнотой 0,7 расположено на юго-восточном склоне крутизной до 10° с подзолистыми глинистыми почвами.

На западном крутом склоне (около 50°) мощность почвенного профиля дерново-карбонатных почв увеличивается сверху вниз. Середина и верхняя часть склона представлена древостоем состава 4С4П2Е, тонкомерная часть его состоит в основном из пихты. Подрост сосны отсутствует. Из общего количества довольно угнетенного подроста (1,3 тыс. шт./га) больше половины приходится на пихту, остальная часть представлена елью и кедром. На нижней части склона в древостое преобладает ель (6Е2С1К1В), состав подроста 4П3К3Е. Протекает процесс вытеснения сосны темнохвойными породами, в первую очередь пихтой.

Участок лесных культур сосны расположен на восточном склоне, характеризуется маломощными дерново-карбонатными почвами. Естественное возобновление на 2/3 представлено елью, в небольшом количестве встречаются сосна и пихта.

Предположив, что все опытные участки соответствуют в той или иной мере условиям роста ели и пихты, хотя различный режим экологических факторов качественно изменяет эти условия, мы сочли возможным найти средние значения содержания основных макроэлементов на начало сентября 1982 г. в хвое подроста, произрастающего в разных местах. Полученные материалы представлены в табл. I.

Содержание основных макроэлементов и их соотношения в хвое этих пород оказались близкими. Масса хвоинок у пихты больше, чем у ели. Отношение N : P : K, вычисленное для усредненных значений содержания элементов в хвое, показало почти полное соответствие этому соотношению для хвои ели обыкновенной (60 : 9 : 31), названному

Таблица 1

Порода	Масса 1 000 хвоинок, мг	Азот	Фос- фор	Каль- ций	Каль- ций	Зола	Соотношение		
							N : P	Ca : K	N : P : K
Ель	1 370	1,72	0,23	1,03	0,73	4,48	7,5	0,71	60 : 8 : 32
	9,1	22,1	4,8	25,0	13,3	35,3			
Пихта	2 300	1,74	0,23	0,96	0,76	3,48	7,5	0,80	60 : 8 : 32
	15,0	38,2	6,0	22,3	12,4	13,2			

Примечание. В числителе — содержание макроэлементов, % на абс. сухую навеску; в знаменателе — коэффициент корреляции, %.

В. М. Лавриченко и З. И. Журбицкий [3] видовым генотипическим соотношением.

Наиболее подвержены колебаниям под влиянием факторов внешней среды азот и калий. Высокая степень вариации для азота в хвое пихты связана с резким отклонением значения показателя для пихты, произрастающей на дерново-карбонатных почвах в условиях полного солнечного освещения (табл. 2, вариант 3). Коэффициент изменчивости составил всего 18 % без учета этого варианта. Максимальной здесь была и масса хвоинок.

Успешный рост пихты сибирской наблюдается при более низких значениях рН, чем у ели обыкновенной [2]. На дерново-карбонатных почвах при нейтральной или близкой к ней реакции почвенного раствора отмечено увеличение содержания кальция в хвое ели и пихты, соотношение Ca : K увеличивается до 1,04... 1,30 в хвое ели и до 1,00... 1,46 в хвое пихты. Увеличение этого показателя произошло не за счет большего потребления кальция, а в результате значительного уменьшения (на 40... 50 % по сравнению со средними величинами, см. табл. 1) количества калия.

Содержание золы имеет наибольшие колебания в хвое ели. Можно предположить, что под пологом насаждений довольно низкое содержание азота в хвое (1,32... 1,43) и снижение отношения N : P до 4,9... 6,0 в хвое ели и пихты (варианты 5, а, б, в) связано не только с недостатком света под пологом, но и напряженными конкурентными отношениями из-за доступных форм азота, что убедительно доказано для ели обыкновенной В. Г. Карповым и др. [6]. При этом ель, по-видимому, менее конкурентноспособна. Так, в березово-осиновой куртине содержание азота в хвое ели значительно меньше, а отношение N : P падает до 6,0 против 8,2 в хвое ели, растущей на близко расположенной опушке березовой куртины (варианты 1 и 2).

Большая теневыносливость пихты подтверждается меньшими колебаниями отношения N : P (от 6 до 8), в разных условиях освещения по сравнению с елью (от 4,9 до 11,4). Исключением является подрост пихты, появившийся в небольшом количестве на участке несомкнутых культур, о чем упоминалось выше.

Не нашел подтверждения факт повышения концентрации азота в хвое угнетенного подростка ели и пихты, что было установлено для последней породы Н. Е. Судачковой [4].

Самосев пихты сибирской на вырубках появляется в основном под пологом лиственных пород, что, кроме предохранения ее от заморозков, связано, по-видимому, с рациональным расходованием энергии, распределяющей между нарастанием массы ассимиляционного аппарата и древесины, между синтезом органического вещества и фотодыханием. Это необходимо учитывать при введении дрезесных пород в культуру.

Таблица 2

Характеристика хвойного подростка ели и пихты на участках с разными экологическими условиями в 1982 г.

Номер варианта	Место произрастания подростка	Содержание гумуса в горизонтальной зоне, % А <sub>1</sub>	рН солевой вытяжки для горизонтальной А <sub>1</sub>	Масса 1000 хвоинок, мг	Содержание, % на абсолютную навеску		Соотношение		
					азота	зола	N : P	Ca : K	
Козульский лесхоз (равнинные леса)									
1	На опушке березовой куртины	10,6	4,8	$\frac{2183}{2570}$	$\frac{1,89}{1,99}$	$\frac{3,15}{3,27}$	$\frac{8,2}{8,0}$	$\frac{0,60}{0,65}$	
2	В осиново-березовой куртине	16,5	5,4	$\frac{1030}{2570}$	$\frac{1,58}{1,90}$	$\frac{4,22}{3,90}$	$\frac{6,0}{8,0}$	$\frac{0,4}{0,78}$	
Бирюсинское лесничество учебно-опытного лесхоза СТИ (предгорья Саян)									
3	Восточный склон (15°), не сомкнувшиеся культуры	5,0	6,4	$\frac{1830}{2900}$	$\frac{1,85}{2,99}$	$\frac{3,06}{3,08}$	$\frac{9,8}{15,0}$	$\frac{1,04}{1,46}$	
4 а	Юго-восточный склон (10°): под пологом древостоя состава 7П2Е1К, ед. С	16,2	4,6	$\frac{1030}{1970}$	$\frac{1,83}{1,43}$	$\frac{4,93}{3,79}$	$\frac{9,1}{6,5}$	$\frac{0,6}{0,62}$	
6 б	на опушке этого леса	22,0	4,3	$\frac{1200}{1930}$	$\frac{2,50}{1,42}$	$\frac{3,88}{3,37}$	$\frac{11,4}{6,0}$	$\frac{0,7}{0,88}$	
5 а	Западный склон (50°), под пологом древостоя: 4С4П2Е (верхняя треть склона)	11,2	7,2	$\frac{1170}{2000}$	$\frac{1,42}{1,41}$	$\frac{4,64}{3,27}$	$\frac{7,1}{6,4}$	$\frac{1,3}{1,0}$	
6 б	4С4П2Е (середина склона)	14,2	6,6	$\frac{1170}{2300}$	$\frac{1,37}{1,43}$	$\frac{7,21}{3,63}$	$\frac{4,9}{6,0}$	$\frac{0,8}{0,7}$	
в	6Е2С1К1Б (нижняя часть склона)	14,2	5,6	$\frac{1370}{2170}$	$\frac{1,35}{1,32}$	$\frac{4,75}{3,42}$	$\frac{5,2}{6,0}$	$\frac{0,7}{0,65}$	

Примечание. В числителе — данные для ели; в знаменателе — для пихты.

Интересен вопрос об использовании данных листового анализа для оценки качества условий роста и определения их соответствия требованиям древесных пород. По всей вероятности это наиболее применимо при выращивании сеянцев в питомниках, когда исключено отрицательное влияние взрослых насаждений, снижена конкуренция со стороны сорняков, обеспечено достаточное световое довольствие. Особенно перспективно, видимо, использование данных листового анализа при выращивании сеянцев в контролируемой среде [8].

Полученные материалы анализов хвои сеянцев ели сибирской, выращиваемых в питомнике Козульского лесхоза, свидетельствуют о разном содержании элементов питания по годам (табл. 3). Более высокое содержание азота в 1974 и 1982 гг., которые характеризовались сильными заморозками в июне (соответственно у 90 и 80 % сеянцев были повреждены верхушечные побеги) подтверждает эффект концентрации питательных элементов, доказанный для ели обыкновенной [1].

Таблица 3

Почва	Год	Возраст сеянцев, лет	Содержание, % на сухую навеску			Соотношение	
			N	P	K	N : P	N : P : K
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	1974	2	2,42	0,30	0,94	8,1	66 : 8 : 26
	1975	2	2,15	0,32	1,03	6,7	60 : 9 : 31
		3	2,04	0,31	1,02	6,6	61 : 9 : 30
	1982	3	2,65	0,23	0,81	9,5	71 : 8 : 21
	1983	4	2,03	0,26	0,80	8,0	66 : 8 : 26
Серая лесная супесчаная (по [5])	1967	2	2,62	0,22	—	11,9	—

По-видимому, высокое содержание азота в хвое сеянцев ели не всегда характеризует обеспеченность почв этим элементом питания. В частности, высокие показатели азота в хвое сеянцев ели сибирской, выращиваемых на супесчаной почве, Н. Е. Судачкова и др. [5] связывают с пассивным обменом веществ.

Процентное содержание фосфора и калия, по-видимому, в большей мере может быть использовано для целей листовой диагностики. Снижение процентного содержания фосфора и калия за 8 лет эксплуатации питомника свидетельствует о выносе части этих элементов с посадочным материалом.

Таким образом, произрастающие совместно ель сибирская и пихта сибирская по содержанию основных макроэлементов в хвое близки между собой. Большая теневыносливость пихты подтверждена меньшими колебаниями отношения N : P в хвое подроста, растущего в разных условиях освещенности; полное солнечное освещение способствует увеличению количества азота в хвое.

Возможности листовой диагностики для определения потребности хвойных пород в элементах почвенного питания требуют дальнейшего изучения. При этом значения отношений основных элементов питания (N : P : K; N : P; Ca : K) несут, по-видимому, значительную информацию о качестве условий произрастания.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Дыренков С. А., Глатцель Г. Эффект концентрации элементов питания в хвое ели — один из механизмов устойчивости растений // Бот. журн.— 1976.— Т. 61, № 5.— С. 611—620. [2]. Иванов А. Ф. Рост древесных растений и кислотность почв.— Минск: Наука и техника, 1970.— 213 с. [3]. Лавриченко В. М., Журбицкий З. И. Соотношение элементов питания в растениях как видовое генотипическое явление // Агрохимия.— 1976.— № 9.— С. 135—141. [4]. Судачкова Н. Е. Развитие корневых систем и азотно-фосфорный обмен у подроста в горных условиях // Изв. СО АН СССР. Сер. биол.-мед. наук.— 1964.— Вып. 1, № 4.— С. 22—27. [5]. Судачкова Н. Е., Осетрова Г. В., Вараксина Т. Н. Изменение биохимического состава сеянцев хвойных пород под влиянием минеральных удобрений // Физиолого-биохимические особенности древесных растений Сибири.— М.: Наука, 1971.— С. 22—35. [6]. Факторы регуляции экосистем еловых лесов / Под ред. В. Т. Карпова.— Л.: Наука, 1983.— 313 с. [7]. Фалалеев Э. Н. Леса Сибири.— Красноярск: КГУ, 1985.— 136 с. [8]. Шлейнис Р. И., Вярбила В. В. Диагностика минерального питания сеянцев сосны в контролируемой среде // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тез. докл. Всесоюз. совещ. г. Архангельск 12—13 августа 1986 г.— Архангельск: Гослесхоз СССР, 1986.— С. 22—23.

УДК 630\*443 : 630\*165.6

## ВЛИЯНИЕ ГРИБНЫХ БОЛЕЗНЕЙ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ИХ СЕМЕННОЕ ПОТОМСТВО

Б. П. ЧУРАКОВ

Алтайский государственный университет

Селекция древесных пород на устойчивость к инфекционным болезням — один из наиболее эффективных методов лесозащиты. В этой связи большое значение для теории и практики лесного хозяйства, особенно с переходом его на селекционно-генетическую основу [5—8, 10—12], имеет вопрос о влиянии инфекционного заболевания материнских деревьев на устойчивость семенного потомства к болезням. Любое инфекционное заболевание сказывается на общем состоянии растения, развитии и функционировании отдельных органов, продолжительности его жизни, периодичности, качестве и продолжительности плодоношения [1, 3, 4, 9, 14, 15]. П. И. Молотков и др. [13] отмечают отрицательное влияние на состояние лесов заготовки семян с деревьев, хотя и удобных для сбора (низкорослых и сучковатых), но нередко больших, нежелательных в генетическом отношении. Они, в частности, считают, что, по-видимому, распространившиеся заболевания хвойных лесов корневой губкой, шютте и другими связаны именно с этим фактором.

Одними из первых исследований по изучению влияния болезни материнских деревьев сосны на семенное потомство являются опыты Клебана [17] по искусственному заражению эцидиоспорами возбудителей смоляного рака семян сосны, выращенных из семян здоровых и больных деревьев. По его данным, среди опытных семян выявились устойчивые и восприимчивые расы, особенно среди семян, происшедших от здоровых деревьев сосны.

Важно выяснить характер влияния грибных болезней материнских деревьев на некоторые биохимические и морфологические показатели семенного потомства.

Исследования проводили в чистых по составу (10С) сосновых насаждениях IV класса возраста, II класса бонитета, в сосняке черничном и на питомниках Барнаульского ленточного бора Алтайского края.

Для изучения влияния болезней материнских деревьев сосны обыкновенной (подвид кулундинская) на некоторые морфологические и биохимические показатели семенного потомства в сосновых насаждениях отбирали по 6 модельных деревьев желтокорой формы сосны, пораженных одним из трех наиболее распространенных и вредоносных в ленточных борах возбудителей болезней: смоляным раком — *Cronartium flaccidum* Wint., *Peridermium pini* Kleb., сосновой губкой — *Phellinus pini* (Thore et Fr.) Pil. или корневой губкой — *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. В качестве контроля использовали 6 здоровых деревьев желтокорой формы сосны. При исследовании выбирали модельные деревья с явными признаками болезни: с раковыми язвами при поражении возбудителями смоляного рака и с плодовыми телами при поражении деревьев сосновой и корневой губкой.

Для выявления влияния грибных болезней материнских деревьев на некоторые биохимические и морфологические показатели семенного потомства определено содержание хлорофилла, аскорбиновой кислоты и pH клеточного сока хвои, а также пророст двухлетних семян сосны желтокорой формы по высоте и диаметру. Исследования проводили на опытных и контрольных сеянцах. Опытными считали сеянцы, выращенные из семян больных деревьев, а контрольными — со здоровых деревьев сосны. Длину и диаметр семян измеряли в 6-кратной повторности по 100 шт. в каждой, длину — с точностью до 0,01 см, диаметр — до 0,01 мм.

Для определения биохимических показателей хвои двухлетних сеянцев сосны использовали хвою первого и второго года жизни. По каждому биохимическому показателю анализ хвои проводили в 6-кратной повторности по типовой методике [2].

Определена корреляционная зависимость биохимических показателей ( $\bar{X}$ ) хвои сеянцев от уровня паразитизма ( $\bar{Y}$ ) возбудителей болезней материнских деревьев. При этом уровень паразитизма возбудителей смоляного рака условно оценивали в баллах, сосновой губки — в 2, корневой губки — в 1 балл. Коэффициент корреляции ( $r$ ) определяли по формуле

$$r = \frac{\sum a_x a_y}{\sqrt{\sum a_x^2 \sum a_y^2}},$$

где  $\sum a_x a_y$  — сумма произведений отклонений отдельных вариантов от соответствующих им средних арифметических ( $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ );  
 $\sum a_x^2 \sum a_y^2$  — сумма квадратов отклонений отдельных вариантов от среднего арифметического ( $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ ).

По нашим данным [16], семенное потомство, полученное от материнских деревьев, больных смоляным раком, сосновой или корневой губкой, сильнее поражается фитопатогенными грибами, чем потомство здоровых деревьев сосны. Например, всходы желтокорой, краснокорой, узкокромной и ширококромной форм сосны, полученные из семян больных деревьев, сильнее поражаются инфекционным полеганием, двухлетние сеянцы — снежным шютте, сосновые культуры — смоляным раком и корневой губкой, чем соответствующие возрастные группы сосны, происшедшие от здоровых деревьев соответствующих эколого-морфологических форм.

В табл. 1 приведены результаты измерений длины и диаметра двухлетних сеянцев желтокорой формы сосны в контрольном и опытном вариантах.

Таблица 1

Происхождение сеянцев	Высота сеянцев, см			Диаметр сеянцев, мм		
	$\bar{X}$	$S_x$	$P$	$\bar{X}$	$S_x$	$P$
От здоровых деревьев	11,93	0,080	—	2,46	0,006	—
От деревьев, пораженных: смоляным раком	10,78	0,004	< 0,05	2,42	0,008	< 0,05
сосновой губкой	10,06	0,080	< 0,05	2,26	0,014	< 0,05
корневой »	9,30	0,045	< 0,05	2,21	0,011	< 0,05

Из таблицы видно, что семенное потомство больных деревьев по размерам заметно отличается от потомства здоровых деревьев сосны. Достоверно установлено, что высота и диаметр двухлетних сеянцев, выращенных из семян больных деревьев, значительно ниже.

Определена корреляционная зависимость размеров двухлетних сеянцев от уровня паразитизма возбудителей болезней материнских деревьев сосны. Под уровнем паразитизма мы понимаем степень эволюционной приспособленности грибов к паразитическому образу жизни, т. е. к существованию за счет живых клеток питающего растения при более или менее длительном прижизненном обмене веществ партнеров. Следовательно, чем выше степень физиологической совместимости и приспособленности возбудителя болезни и растения-хозяина к прижизненному взаимному сосуществованию, тем выше уровень паразитизма возбудителя болезни.

При определении корреляционной связи между размерами сеянцев ( $\bar{X}$ ) и уровнем паразитизма ( $\bar{Y}$ ) возбудителей болезней материнских деревьев уровень паразитизма грибов также оценивали в баллах: возбудители смоляного рака (облигатные паразиты) — 3 балла, сосновая губка (факультативный сапротроф) — 2 и корневая губка (факультативный паразит) — 1 балл (табл. 2).

Таблица 2

Показатели	$\bar{y}$	$\bar{x}$	$r$
Высота сеянцев	2,0	10,05	+ 0,998
Диаметр »	2,0	2,30	+ 0,952

Из табл. 2 видно, что размеры двухлетних сеянцев сосны положительно коррелируют с уровнем паразитизма возбудителей болезней материнских деревьев, т. е. по мере повышения уровня паразитизма грибов (от корневой губки к смолянному раку) увеличивается высота и диаметр сеянцев сосны.

В связи с тем, что инфекционные болезни материнских деревьев сказываются на иммунологических и качественных показателях семенного потомства, можно предположить, что такое влияние будет проявляться и на биохимических свойствах семенного потомства. Для проверки такого предположения определены некоторые биохимические показатели хвои двухлетних сеянцев желтокорой формы сосны (табл. 3).

Таблица 3

Происхождение сеянцев	Возраст хвой, лет	$\bar{x}$	$S_x$	$P$	$P_B$
-----------------------	-------------------	-----------	-------	-----	-------

## Содержание хлорофилла, мг/г

От здоровых деревьев	1	1,72	0,06	—	—
	2	1,86	0,06	—	> 0,05
От деревьев, пораженных: смоляным раком	1	1,50	0,04	< 0,05	—
	2	1,74	0,06	> 0,05	< 0,05
сосновой губкой	1	1,28	0,06	< 0,05	—
	2	1,28	0,05	< 0,05	> 0,05
корневой »	1	1,18	0,05	< 0,05	—
	2	1,20	0,06	< 0,05	> 0,05

## Содержание аскорбиновой кислоты, мг %

От здоровых деревьев	1	3,44	0,02	—	—
	2	3,31	0,03	—	< 0,05
От деревьев, пораженных: смоляным раком	1	2,93	0,02	< 0,05	—
	2	3,02	0,05	< 0,05	> 0,05
сосновой губкой	1	2,72	0,04	< 0,05	—
	2	2,82	0,04	< 0,05	> 0,05
корневой »	1	2,12	0,03	< 0,05	—
	2	2,65	0,03	< 0,05	< 0,05

## рН клеточного сока

От здоровых деревьев	1	5,2	0,14	—	—
	2	5,4	0,10	—	> 0,05
От деревьев, пораженных: смоляным раком	1	4,2	0,08	< 0,05	—
	2	4,4	0,11	< 0,05	> 0,05
сосновой губкой	1	4,7	0,10	< 0,05	—
	2	4,8	0,08	< 0,05	> 0,05
корневой »	1	4,9	0,13	> 0,05	—
	2	5,2	0,13	> 0,05	> 0,05

Данные табл. 3 показывают, что в одно- и двухлетней хвое сеянцев, выращенных из семян больных деревьев, содержание хлорофилла значительно ниже, чем в аналогичной хвое сеянцев от здоровых деревьев. Различия в содержании хлорофилла между контрольными и опытными сеянцами достоверны во всех случаях, за исключением варианта с двухлетней хвоей сеянцев, выращенных из семян деревьев, пораженных смоляным раком, где различия недостоверны.

Содержание аскорбиновой кислоты в одно- и двухлетней хвое сеянцев, выращенных из семян от больных деревьев, достоверно ниже, чем ее содержание в хвое сеянцев, выращенных из семян здоровых деревьев.

pH клеточного сока одно- и двухлетней хвои сеянцев, выращенных из семян больных деревьев, также в общем ниже, чем pH клеточного сока хвои сеянцев из семян здоровых деревьев. Различия в pH клеточного сока хвои между контрольными и опытными сеянцами достоверны во всех случаях, за исключением варианта с сеянцами из семян деревьев, пораженных корневой губкой, где различия недостоверны по обоим возрастам хвои.

Несмотря на то, что по абсолютным данным изучаемые биохимические показатели у двухлетней хвои несколько выше, чем у однолетней, почти по всем вариантам опытных сеянцев, различия между ними достоверны только в двух случаях: по содержанию хлорофилла — в варианте с сеянцами, происшедшими от деревьев со смоляным раком; по содержанию аскорбиновой кислоты — в варианте с сеянцами, происшедшими от деревьев с корневой губкой. У контрольных сеянцев достоверность различий между одно- и двухлетней хвоей отмечены только в содержании аскорбиновой кислоты.

В табл. 1 и 3 применены следующие обозначения:  $\bar{X}$  — средняя арифметическая изучаемых показателей;  $S_{\bar{x}}$  — ошибка среднего арифметического,  $P$  — достоверность различий между изучаемыми показателями опытных и контрольных сеянцев относительно 0,05-го уровня значимости гипотезы,  $P_{\text{в}}$  — достоверность различий между изучаемыми показателями хвои двух смежных возрастов.

В табл. 4 представлены данные о корреляционной зависимости биохимических показателей ( $\bar{X}$ ) хвои двухлетних сеянцев от уровня паразитизма ( $\bar{Y}$ ) возбудителей болезней материнских деревьев сосны обыкновенной.

Таблица 4

Биохимические показатели	$\bar{Y}$	$\bar{X}$	$r$
Содержание хлорофилла	2,0	1,36	+ 0,956
Содержание аскорбиновой кислоты	2,0	2,70	+ 0,987
pH клеточного сока	2,0	4,70	- 0,998

Данные табл. 4 показывают, что содержание хлорофилла и аскорбиновой кислоты в хвое положительно коррелируют с уровнем паразитизма возбудителей болезней материнских деревьев. В то же время отмечено понижение pH клеточного сока хвои сеянцев по мере увеличения уровня паразитизма возбудителей болезней материнских деревьев сосны.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Алексеев И. А. Лесохозяйственные меры борьбы с корневой губкой.— М.: Лесн. пром-сть, 1969.— 57 с. [2]. Баславская С. С., Трубецкова С. М. Практикум по физиологии растений.— М.: МГУ, 1964.— 286 с. [3]. Воронцов А. И. Смоляной рак в лесах Приокско-Террасного заповедника // Тр. / Приок.-Тер. заповед.—

М., 1971.— Вып. 5.— С. 67—76. [4]. Жуков А. М. Грибные болезни лесов верхне-Приобья.— Новосибирск: Наука, 1978.— 247 с. [5]. Ирошников А. И. Селекция хвойных пород Сибири.— Красноярск: Ин-т леса и древесины, 1978.— 190 с. [6]. Ирошников А. И. Актуальные проблемы лесной генетики и селекции // Лесоведение.— 1987.— № 3.— С. 3—10. [7]. Любавская А. Я. Лесная селекция и генетика.— М.: Лесн. пром-сть, 1982.— 285 с. [8]. Мелехов И. С. Лесоведение.— М.: Лесн. пром-сть, 1980.— 406 с. [9]. Негруцкий С. Ф. Корневая губка.— М.: Агрпромпиздат, 1986.— 197 с. [10]. Озолин Г. П. Селекция древесных пород для защитного лесоразведения.— М.: Лесн. пром-сть, 1978.— 152 с. [11]. Правдин Л. Ф. Научные основы селекции хвойных древесных пород.— М.: Наука, 1978.— 190 с. [12]. Правдин Л. Ф. Проблемы современной лесной генетики и селекции // Вопросы лесной генетики и фитоценологии.— М.: Наука, 1983.— С. 5—82. [13]. Селекция древесных пород / П. И. Молотков, И. П. Патлай, Н. И. Давыдова и др.— М.: Лесн. пром-сть, 1982.— 222 с. [14]. Синадский Ю. В. Сосна. Ее вредители и болезни.— М.: Наука, 1983.— 338 с. [15]. Федоров Н. И. Биология *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. и *Phellinus tremulae* Bond. et Borriss. и патологическая физиология сосны обыкновенной и осины: Автореф. дис... докт. биол. наук.— Минск, 1970.— 44 с. [16]. Чураков Б. П. Зараженность фитопатогенными грибами различных форм сосны обыкновенной в ленточных борах Алтая // Лесоведение.— 1986.— № 2.— С. 62—67. [17]. Klebahn, Kulturversuche mit Rostpilze Bericht (1916—1924) // Zeitschr. Pflankrankheit, 34, 1924.

Поступила 21 декабря 1987 г.

УДК 630\*524

## ОЦЕНКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОСТА И ОТПАДА ЛЕСА ПРОФ. П. В. ВОРОПАНОВА

Н. К. ТЕСЛЮК

ВНИПИЭИлеспром

В 1976—1982 гг. проф. П. В. Воропановым опубликован ряд работ по определению прироста и отпада насаждений, в которых основной упор сделан на использование в расчетах уже составленных таблиц хода роста насаждений ([1—3] и др.).

По поручению Минлесбумпрома СССР в целях сырьевого обеспечения лесозаготовок при дефиците спелых насаждений ВНИПИЭИлеспром проводил работы по определению ресурсов древесного отпада в лесах СССР. Были проанализированы методы определения древесного отпада с использованием материалов учета лесного фонда. Установлено, что теоретические предложения П. В. Воропанова во многих случаях не отражают реально происходящих процессов, хотя и подтверждаются с допустимой в лесной таксации точностью рядом таблиц хода роста и результатами измерений на постоянных пробных площадях. Поэтому они нуждаются в дальнейшем развитии. Их основу составляют сравнительно простые формулы определения текущего прироста и размеров среднего дерева в отпаде.

Сам П. В. Воропанов [2] отмечал, что «предлагаемый... метод позволяет придать истинные размеры текущего прироста по запасам всех таблицах хода роста насаждений. Его можно использовать, когда текущий прирост еще не установлен автором таблиц или когда возникают сомнения в достоверности указанных в таблицах размеров текущего прироста. Он применим также при составлении новых таблиц, когда в качестве исходных данных взяты два таксационных признака: запас и количество деревьев в насаждении».

Текущий прирост запаса древостоя в возрасте  $A$  лет за последние  $n$  лет по П. В. Воропанову определяется по формуле

$$Z_M^{\text{тек}} = Z_V^{\text{тек}} N_A = N_A (V_A - V_{A-n}), \quad (1)$$

где  $Z_V^{\text{тек}}$  — текущий объемный прирост за  $n$  лет среднего дерева в древостое возраста  $A$  лет;

$N_A$  — число деревьев в древостое возраста  $A$  лет;  
 $V_A$  и  $V_{A-n}$  — объемы среднего дерева насаждения в возрасте  $A$  и  $A-n$  лет.

Эта формула соответствует формуле ОСТ 56—73—84 [4] для определения периодического текущего прироста запаса древостоя по наличным деревьям

$$Z_{M_A}^n = M_A - m_{A-n}, \quad (2)$$

где  $M_A$  — запас древостоя в настоящее время;

$m_{A-n}$  — запас наращивания (запас этих же деревьев  $n$  лет назад).

Это соответствие наблюдается, если в формуле запаса наращивания принять, что объем среднего дерева в остающейся части насаждения ( $V_{A-n}^{\text{ост. ч}}$ ) равен объему среднего дерева всего насаждения, например, в возрасте  $A-n$  лет ( $V_{A-n}$ ):  $V_{A-n}^{\text{ост. ч}} = V_{A-n}$ .

Тогда

$$m_{A-n} = V_{A-n}^{\text{ост. ч}} N_A = V_{A-n} N_A,$$

а

$$\begin{aligned} Z_{M_A}^n &= M_A - m_{A-n} = M_A - V_{A-n} N_A = N_A V_A - V_{A-n} N_A = \\ &= N_A (V_A - V_{A-n}) = Z_{M}^{\text{тек}}. \end{aligned}$$

Однако между  $V_{A-n}^{\text{ост. ч}}$  и  $V_{A-n}$  могут иметь место различные соотношения. В молодом древостое  $V_{A-n}^{\text{ост. ч}}$  больше, чем  $V_{A-n}$ , так как в это время отпадают отставшие в росте угнетенные деревья, имеющие относительно малые объемы стволов. В старовозрастных насаждениях ветром вываливаются больше всего выделяющиеся из общего полога деревья, сильно парусящие за счет большей высоты и более широкой кроны. Поэтому при вывале крупномерных деревьев в предстоящие  $n$  лет  $V_{A-n}^{\text{ост. ч}}$  меньше, чем  $V_{A-n}$ . Очевидно, что соответствие формул (1), (2) может иметь место в более старших насаждениях, чем молодняки.

Другая формула периодического текущего прироста запаса древостоя, определяемого по деревьям, составляющим древостой  $n$  лет назад, имеет вид:

$$Z_{M_{A-n}}^n = M_A - M_{A-n} + M_n^{\circ}, \quad (3)$$

где  $M_{A-n}$  — запас древостоя  $n$  лет назад;

$M_n^{\circ}$  — запас деревьев отпада за прошедшие  $n$  лет.

Для сравнения с формулой (1) П. В. Воропанова выразим в ней  $M_{A-n}$  как произведение  $N_{A-n} V_{A-n}$ . В свою очередь, число деревьев, составляющих древостой  $n$  лет назад ( $N_{A-n}$ ), складывается из оставшихся ( $N_A$ ) и отпавших ( $N_n^{\circ}$ ) деревьев:  $N_{A-n} = N_A + N_n^{\circ}$ . Тогда

$$M_{A-n} = V_{A-n} (N_A + N_n^{\circ}) = N_A V_{A-n} + N_n^{\circ} V_{A-n}.$$

Запас отпада  $M_n^{\circ}$  складывается из запаса отпавших деревьев, еще росших  $n$  лет назад ( $M_{A-n}^{\circ}$ ), и текущего прироста на них до момента отпада ( $Z_n^{\circ}$ ):

$$M_n^{\circ} = M_{A-n}^{\circ} + Z_n^{\circ} \text{ или } M_n^{\circ} = N_n^{\circ} V_{A-n}^{\circ} + Z_n^{\circ}.$$

Подставляя эти выражения в формулу (3), получаем:

$$Z_{M_{A-n}}^n = M_A - M_{A-n} + M_n^0 = N_A V_A - N_A V_{A-n} - N_n^0 V_{A-n} + \\ + N_n^0 V_{A-n}^0 + Z_n^0$$

или

$$Z_{M_{A-n}}^n = N_A (V_A - V_{A-n}) + N_n^0 (V_{A-n}^0 - V_{A-n}) + Z_n^0. \quad (4)$$

Из этого преобразованного выражения видно, что формула (1) П. В. Воропанова входит составной частью в формулу текущего прироста насаждения (3), (4). К ней добавляются величины  $K = N_n^0 (V_{A-n}^0 - V_{A-n})$  и  $Z_n^0$ . Величина  $Z_n^0$  всегда положительна (текущий прирост на отпавших деревьях), а  $K$  может быть разной по знаку. Если отпадают в основном крупномерные деревья ( $V_{A-n}^0 > V_{A-n}$ ), она положительна, а если угнетенные тонкомерные ( $V_{A-n}^0 < V_{A-n}$ ) — отрицательна. Если же объем среднего дерева отпада равен объему среднего дерева насаждения ( $V_{A-n}^0 = V_{A-n}$ ), то истинный текущий прирост по формуле (3) больше, чем по формуле (1) П. В. Воропанова, на величину  $Z_n^0$ . Это же наблюдается, когда отпадают в основном крупномерные деревья.

При нормальном росте постепенно усыхают преимущественно угнетенные тонкомерные деревья, их прирост  $Z_n^0$  очень мал и своей положительной величиной не может перекрыть отрицательной в этом случае величины  $K$ . Тогда истинный текущий прирост по формулам (3), (4) получается меньше, чем по формуле (1), т. е. при нормальном росте насаждений формула П. В. Воропанова завышает прирост. К периоду спелости многие крупные деревья могут поражаться и отпадать быстрее, чем находящиеся под их защитой деревья меньших размеров. В этом случае может быть верной и формула П. В. Воропанова.

Можно отметить следующие противоречия при определении П. В. Воропановым объема среднего дерева в отпаде ( $V_A^0 = V_{A-n}$  — объем среднего дерева отпада в возрасте  $A$  лет равен объему среднего дерева насаждения в возрасте  $A - n$  лет):

согласно этому выражению, объем среднего отпавшего дерева не возрастает при увеличении рассматриваемого  $n$ -летнего периода;

в древостое прирастают только остающиеся деревья, а отпадающие не прирастают и внезапно отпадают в самом начале  $n$ -летнего периода;

наоборот, средний прирост одного дерева исчислен П. В. Воропановым не по остающейся части древостоя, а через разницу средних объемов деревьев всего древостоя, т. е. в предположении, что и отмирающие деревья прирастают.

Все это и привело к неправильному выражению объема среднего дерева отпада. Хотя П. В. Воропанов и приводит для иллюстрации данные из семи таблиц хода роста, однако они во многих случаях не подтверждают его теоретических выводов. Например, по табл. В. Д. Арещенко для осины БССР Ia класса бонитета  $V_{A-n} = 1,16 \text{ м}^3$  в возрасте 65 лет, а  $V_A^0 = 1,59 \text{ м}^3$  в возрасте 70 лет при  $n = 5$  лет. Разница в  $0,43 \text{ м}^3$  более чем существенна. Такие примеры наблюдаются многократно.

Отпад по методу П. В. Воропанова определяется умножением процентов отпада для различных древесных пород на общие запасы стволовой древесины, данные по которым имеются в материалах периодически повторяемых учетов лесного фонда

$$M_1^0 = MP^0, \quad (5)$$

где  $M_1^o$  — объем ежегодного древесного отпада стволовой древесины в коре;

$M$  — общий запас стволовой древесины;

$P^o$  — процент отпада по породам и группам возраста.

Проценты отпада установлены П. В. Воропановым по имеющимся таблицам хода роста высокополнотных насаждений, а данные учетов лесного фонда являются смешанными значениями для насаждений различных полнот, встречающихся в природе. Правомерность использования процентов отпада для насаждений неопределенной полноты должна быть соответствующим образом обоснована. Поэтому разберем этот вопрос в методическом плане. Запас фактического насаждения выразим формулой

$$M^{\Phi} = \Pi M_n, \quad (6)$$

где  $\Pi$  — полнота фактического насаждения;

$M_n$  — запас нормального насаждения (при полноте 1,0).

Подставляя в формулу (3) выражение П. В. Воропанова (1) и (6), получаем:

$$\begin{aligned} M_n^o &= Z_{M_{A-n}}^n - M_A + M_{A-n} = Z_M^{\text{тек}} - M_A + M_{A-n} = \\ &= N_A V_A - N_A V_{A-n} - M_A + M_{A-n} = M_A - N_A \frac{M_{A-n}}{N_{A-n}} - M_A + \\ &+ M_{A-n} = \frac{1}{\Pi} \left( M_A^{\Phi} - \frac{N_A}{N_{A-n}} M_{A-n}^{\Phi} - M_A^{\Phi} + M_{A-n}^{\Phi} \right) = \\ &= \frac{1}{\Pi} M_n^{\text{оф}} = M_{A-n} \left( 1 - \frac{N_A}{N_{A-n}} \right), \end{aligned}$$

т. е. отпад в фактическом насаждении равен отпаду в нормальном насаждении, умноженному на полноту. Отсюда, в свою очередь, вытекает, что процент отпада не зависит от полноты:

$$P^o = \frac{M_1^o}{M} = \frac{M_1^{\text{оф}} \Pi}{M^{\Phi} \Pi} = \frac{M_1^{\text{оф}}}{M^{\Phi}}. \quad (7)$$

Очевидно, из-за упрощенности формулы П. В. Воропанова (1) такой вывод не соответствует реальности. В редкостойных насаждениях, например садового типа, отпада почти нет из-за отсутствия угнетения, конкуренции, достаточности всех внешних факторов для жизнедеятельности каждого дерева. Процент отпада приближается здесь к нулю. Проверка по таблицам хода роста А. И. Тюрина, В. И. Левина, И. И. Гусева и Д. А. Миловановича для сосны III класса бонитета показывает, что существенные различия в процентах отпада из-за полноты действительно есть. Например, в возрасте древостоя 90 лет минимальный процент равен 0,98 (И. И. Гусев), а максимальный — 1,47 (А. И. Тюрин), в 140 лет минимум — 0,50 (А. И. Тюрин), максимум — 0,90 (В. И. Левин) и т. д.

Для ориентировочных расчетов величины отпада как ресурса промежуточного пользования применение процентов отпада допустимо только для высокополнотных насаждений (полнота 0,8...1,0, в среднем около 0,9), в которых и проводятся рубки ухода. Запас ежегодного отпада в высокополнотных насаждениях

$$M_{0,9}^o = M_{0,9} P^o, \quad (8)$$

где  $M_{0,9}$  — запас высокополнотных насаждений.

По материалам учетов лесного фонда нельзя непосредственно определить долю запасов высокополнотных насаждений. Там приводятся лишь площади покрытых лесом земель, занятых насаждениями разной полноты. Ориентировочно можно провести вычисления на основе следующих допущений. Обозначим запас на 1 га лесного фонда при нормальной полноте как  $M_n$ . Тогда запас высокополнотных насаждений лесного фонда определится по формуле

$$M_{0,9} = 0,9M_n F_{0,9},$$

где  $F_{0,9}$  — площадь под высокополнотными насаждениями.

Запас всего лесного фонда равен сумме запасов высоко-, средне- и низкополнотных насаждений и соответственно выражается следующим образом:

$$M = M_{0,9} + M_{0,6} + M_{0,35} = 0,9M_n F_{0,9} + 0,6M_n F_{0,6} + 0,35M_n F_{0,35}.$$

Поэтому

$$\frac{M_{0,9}}{M} = \frac{0,9F_{0,9}}{0,9F_{0,9} + 0,6F_{0,6} + 0,35F_{0,35}},$$

а

$$M_{0,9}^0 = M_{0,9} P^0 = \frac{0,9P^0 M F_{0,9}}{0,9F_{0,9} + 0,6F_{0,6} + 0,35F_{0,35}}. \quad (9)$$

Определенная таким путем величина отпада в высокополнотных насаждениях, являющаяся своего рода расчетным размером промежуточного пользования, в 2—3 раза меньше данных, полученных П. В. Воропановым для всего лесного фонда. Например, в европейско-уральской части СССР ежегодный древесный отпад в коре составляет в хвойных насаждениях 63,2 млн м<sup>3</sup>, в твердолиственных — 15,4 млн м<sup>3</sup>, в мягколиственных — 67,2 млн м<sup>3</sup>. Эти цифры должны уточняться введением поправок на существенную долю низкопродуктивных насаждений низших классов бонитета, на низкий выход ликвидной древесины и т. п.

Предлагаемые формулы могут быть использованы для определения прироста древостоев, а также отпада по материалам учета лесного фонда областей и экономических районов с учетом породного состава лесов. В целом методика П. В. Воропанова по исправлению существующих таблиц хода роста насаждений должна дополняться натурными исследованиями фактических размеров отпада и текущего прироста на отпадающих деревьях с учетом местных специфических особенностей.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Воропанов П. В. Расчет размеров среднего дерева в отпаде насаждения // Лесн. журн.— 1976.— № 6.— С. 22—25.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Воропанов П. В. Размеры истинного текущего прироста по запасу, получаемые по таблицам хода роста насаждений // Лесн. хоз-во.— 1978.— № 11.— С. 53—57. [3]. Воропанов П. В. О нормативно-технической базе для расчета промежуточного пользования в сосновых молодняках европейской части СССР // Лесн. журн.— 1982.— № 6.— С. 42—48.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. ОСТ 56—73—84. Таксация и лесоустройство. Прирост древесины в древостое. Классификация и символика, основные расчетные формулы. Термины и определения.— М.: Гослесхоз СССР, 1984.— 8 с.

Поступила 8 октября 1986 г.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630\*37 : 625.711.84

МЕТОДИКА УЧЕТА ПРИВЕДЕННЫХ МАСС ПОКРЫТИЯ  
ПРИ ОЦЕНКЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ С ДОРОГОЙ

А. В. ЖУКОВ, С. С. МАКАРЕВИЧ, Л. Ф. ДОРОНИН,  
К. Б. АБРАМОВИЧ, Е. А. БОРОДИЧ

Белорусский технологический институт

В настоящее время, в связи с повышением интенсивности, скорости движения и грузоподъемности автопоездов, все более актуальной становится оценка динамического взаимодействия транспортных средств и дороги, при котором в колебания вовлекается значительный объем материалов, составляющих дорожную конструкцию.

Как свидетельствует анализ литературных источников, при изучении вертикальной динамики транспортных средств, в частности лесовозных автопоездов, как правило, не учитывают упругие свойства дорожных материалов и их приведенные массы. Анализ исследований, выполненных рядом авторов [1—3, 8], показывает, что способы определения приведенных масс могут быть различными и до настоящего времени они окончательно не разработаны.

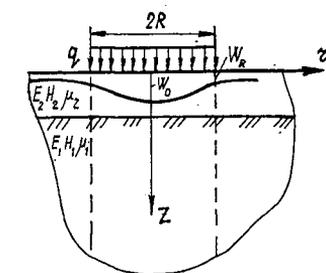


Рис. 1. Расчетная схема определения приведенных масс

Рассмотрим предложенный нами способ определения приведенной к колесам автотранспортного средства массы двухслойной дорожной конструкции, представленной однородным упруговязким слоем и полупространством, на которую действует постоянная во времени вертикальная нагрузка, равномерно распределенная по площади круга радиусом  $R$  (рис. 1).

Примем, что в колебаниях участвует только масса слоев дорожной конструкции в виде цилиндра, расположенного под отпечатком колеса. Перемещения в центре обозначим  $W_0$ , а на краю отпечатка  $W_R$ . Тогда перемещение в произвольной точке  $0 \leq r \leq R$  на поверхности можно аппроксимировать уравнением прямой

$$W_r = W_0 - kr, \tag{1}$$

где  $k = \frac{W_0 - W_R}{R}$ .

Изменение перемещений по глубине выразим экспонентой, т. е.:

$$W_z = W_r e^{-\lambda z}, \tag{2}$$

где  $\lambda$  — постоянный коэффициент.

Учитывая (1) и (2), можно записать:

$$W_{zr} = e^{-\lambda z} (W_0 - kr). \tag{3}$$

Колебания элементарной массы в любой точке примем по синусоидальному закону

$$W_t = W_{zr} \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $\omega$  — частота колебаний;  
 $\varphi$  — фаза.

Отсюда скорость колебаний

$$\dot{W}_t = \omega W_{zr} \cos(\omega t + \varphi).$$

Максимального значения кинетическая энергия достигает при наибольшей скорости  $\dot{W}_{max} = \omega W_{zr}$ , тогда:

$$T = \frac{\omega^2}{2} \int_M W_{zr}^2 dm. \quad (4)$$

При  $\dot{W}_t = 0$  кинетическая энергия обращается в нуль, а потенциальная энергия  $U$  достигает максимального значения. Из условия сохранения энергии можно записать

$$\frac{\omega^2}{2} \int_M W_{zr}^2 dm = U,$$

отсюда

$$\omega^2 = \frac{2U}{\int_M W_{zr}^2 dm}. \quad (5)$$

Вычислим интеграл, стоящий в знаменателе. На расстоянии  $r$  выделим кольцевую элементарную массу  $dm = \rho 2\pi r dr dz$ , где  $\rho$  — плотность дорожно-строительных материалов.

Массу внешней нагрузки  $M_0$ , приходящуюся на один отпечаток, будем считать сосредоточенной в центре отпечатка 0. Тогда

$$\begin{aligned} \int_M W_{zr}^2 dm &= M_0 W_0^2 + 2\pi\rho \left\{ \int_0^\infty e^{-2\lambda z} dz \left[ \int_0^R (W_0 - kr)^2 r dr \right] \right\} = \\ &= W_0^2 \left[ M_0 + \frac{\pi\rho}{\lambda} R^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{2kR}{3W_0} + \frac{k^2 R^2}{4W_0^2} \right) \right]. \end{aligned}$$

Таким образом, приведенная масса

$$m = \frac{\pi\rho}{\lambda} R^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{2kR}{3W_0} + \frac{k^2 R^2}{4W_0^2} \right). \quad (6)$$

Максимальные вертикальные перемещения  $W_1$  при  $r = 0$  и перемещения  $W_2$  при  $r = R$  определяли для двухслойной системы, представленной однородным упруговязким слоем и полупространством, связанными между собой условиями непрерывности напряжений  $G_z$ ,  $\tau_{zr}$ , и перемещений вдоль осей  $z$  и  $r$  на ЭВМ типа ЕС, при реализации соответствующих программ [5] по исследованию напряженно-деформированного состояния слоистых дорожных систем с учетом реологических свойств материалов по формулам [4]:

$$\begin{aligned} W_1 &= -\frac{1 + \mu_1}{H_1 R^2} \left( 1 + \frac{H_1 - E_1}{E_1} e^{-\frac{H_1 t}{E_1 n_1}} \right) \int_0^\infty [A + B(2 - 2\mu_1 - \delta)] \times \\ &\quad \times e^{-\lambda z} \alpha^2 I_0(\alpha r) d\alpha; \end{aligned}$$

$$W_2 = -\frac{1 + \mu_2}{H_2 h^2} \left( 1 + \frac{H_2 - E_2}{E_2} e^{-\frac{H_2 t}{H_2 n_2}} \right) \int_0^\infty \{ A + B [2(1 - \mu_2) - \delta] - C [(1 - 2\mu_2)(1 - e^{-2\lambda_1}) - \lambda_2(1 + e^{-2\lambda_2})] + D [2(1 - \mu_2)(1 + e^{-2\lambda_2}) - \lambda_2(1 + e^{-2\lambda_2})] \} \alpha^2 e^{-\lambda r} I_0(\alpha r) dx.$$

Коэффициенты  $A, B, C, D$  — неопределенные функции от параметра  $\alpha$  и  $t$ , которые находятся из граничных условий, в результате чего приходим к системе линейных алгебраических уравнений с переменными коэффициентами относительно четырех функций  $A, B, C, D$ :

$$(a_1 - a_2)A - [a_1(1 - 2\mu_1) - a_2(1 - 2\mu_2)]B - 4a_2(1 - \mu_2)C = 0;$$

$$(a_1 - a_2)A + [2(1 - \mu_1)a_1 - 2(1 - \mu_2)a_2]B - 4a_2(1 - \mu_2)D = 0;$$

$$A + (1 - \alpha)B + \alpha a_3 C + (a_3 - \alpha a_4)D = -P\beta h^3 \alpha^{-3} I_1(\beta \alpha);$$

$$A - \alpha B + (a_3 + \alpha a_4)C - \alpha a_3 D = 0,$$

где 
$$a_1 = \frac{1 + \mu_1}{H_1} \left( 1 + \frac{H_1 - E_1}{E_1} e^{-\frac{H_1 t}{E_1 n_1}} \right);$$

$$a_2 = \frac{1 + \mu_2}{H_2} \left( 1 + \frac{H_2 - E_2}{E_2} e^{-\frac{H_2 t}{E_2 n_2}} \right);$$

$$a_3 = 1 - e^{-2\alpha}; \quad a_4 = 1 + e^{-2\alpha}.$$

В результате проведенных расчетов для принятой двухслойной системы с мгновенными модулями упругости слоев  $E_2 = 2450$  МПа;  $E_1 = 160$  МПа;  $h = 0,22$  м и  $R = 0,165$  м получили:  $W_0 = 24 \cdot 10^{-5}$  м;  $W_r = 21,2 \cdot 10^{-5}$  м;  $\lambda = 0,9 \cdot \text{м}^{-1}$ ;  $k = 1,76 \cdot 10^{-4}$ . В расчетах по определению приведенных масс принимали  $\rho = 2800$  кг/м<sup>3</sup>.

Анализ составляющих формулы (6) и результатов проведенных расчетов показал, что для реальных условий выражение, записанное в скобках, примерно равно 0,5. Поэтому для ориентировочной оценки влияния на величину приведенной массы основных факторов можно использовать зависимость

$$m = 0,5 \frac{\pi \rho}{\lambda} R^2.$$

Как видно из этой формулы, наибольшее влияние на величину приведенной массы оказывает радиус отпечатка шины, а также плотность ( $\rho$ ) и коэффициент  $\lambda$ , характеризующий изменение перемещений по глубине. Изложенное иллюстрируется рис. 2, а и б. Из рис. 2 видно, что величина приведенной массы интенсивно увеличивается при возрастании радиуса отпечатка шины и уменьшается при возрастании коэффициента  $\lambda$ . В свою очередь,  $\lambda$  зависит от  $R$ .

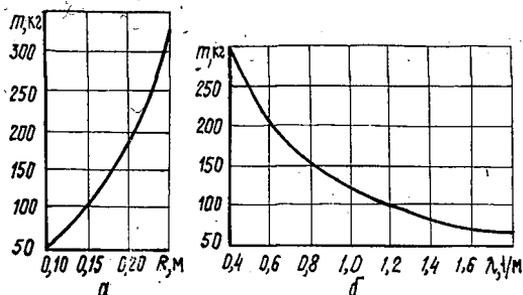


Рис. 2. Зависимость приведенной массы от радиуса отпечатка шины (а) и коэффициента изменения перемещений по глубине (б)

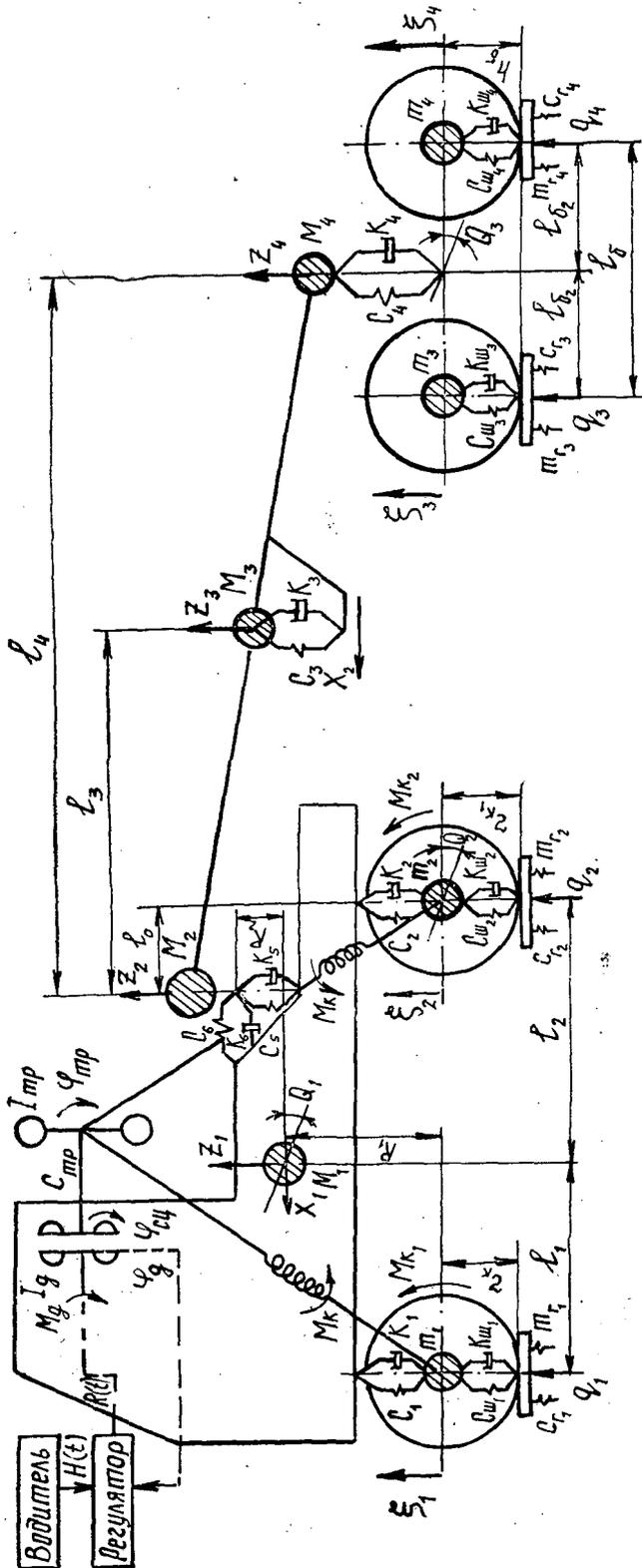


Рис. 3. Расчетная математическая модель лесовозного автопоезда

Для повышения точности моделирования процесса движения лесс транспортной системы, а следовательно, и более точной оценки динамических колебательных процессов в дорожной конструкции нами разработана расчетная модель лесовозного автопоезда с учетом исследований В. М. Семенова [7], В. С. Николюка [6] и др.

Для лесовозного автопоезда рассмотрена система, учитывающая действия водителя, двигатель как источник заданной ограниченной мощности, крутильные колебания трансмиссии, упругие свойства подвески и шин тягача и прицепа-ропуса, пачки хлыстов. Воздействия от неровностей дороги предстали в виде случайных функций. Предусмотрена возможность моделирования установившихся и неустановившихся режимов движения на любых передачах.

Расчетная схема представлена на рис. 3, где учтены моменты  $M_{\text{фд}}$ ,  $M_{\text{фсц}}$ ,  $M_{\text{тр}}$  сил инерции вращающихся частей двигателя, муфты сцепления и трансмиссии тягача; моменты  $M_{\text{фтр}}$ ,  $M_{\text{к1}}$ ,  $M_{\text{к2}}$  сил упругости и сил сопротивления при крутильных деформациях трансмиссии и шин передних и задних колес тягача; продольные силы  $F_{x1}$ ,  $F_{x2}$ ,  $F_{x3}$  и  $F_{x4}$ , возникающие в точках контакта колес с дорогой.

Кинематическое возмущение от неровностей дороги учитывают за счет составляющих упругих вертикальных сил в шинах, продольных сил взаимодействия колеса с неровностями дороги и момента  $M_{\text{кфj}}$ . Параметры двигателя задают по его статической характеристике, которая учитывает изменение величины крутящего момента  $M_{\text{д}}[\dot{\varphi}_{\text{д1}}, H(t)]$  от угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя  $\dot{\varphi}_{\text{д}}$  и положения педали подачи топлива  $H(t)$ .

Расчетная схема предусматривает возможность учета процесса формирования момента трения муфты сцепления  $M_{\text{сц}}(\dot{\varphi}_{\text{д}}, \dot{\varphi}_{\text{сц}}, t)$  при быстром, нормальном и медленном его включении. Она отражает процесс движения автопоезда при буксующем сцеплении, а также при блокировке его дисков, учитывает крутильные колебания в трансмиссии, продольно-угловые колебания корпуса тягача, связанные с крутильными колебаниями колес, вертикальные и продольные упругие перемещения элементов системы. Учтены вертикальные колебания масс тягача, прицепа-ропуса и пачки во взаимной связи с другими видами перемещений динамической системы.

Динамическая система включает приведенные массы грунта  $m_{\text{гi}}$  с характеристиками упругой податливости  $C_{\text{гi}}$  и сопротивления  $k_{\text{гi}}$ . Значения приведенных масс определены по описанной выше методике.

Расчетная схема позволяет решать задачи, связанные как с оценкой эффективности вывозки древесины с учетом скоростных и тяговых показателей, расхода топлива, плавности хода, динамической нагруженности, так и нагруженности дороги при различных режимах движения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Буряк Е. С., Уваров Б. В., Щелкунов В. В. Воздействие на дорожную одежду нагрузки, изменяющейся со временем // Лесн. журн.—1985.—№ 2.— С. 27—31.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Гайдар Н. А., Медведь О. И. О влиянии упругих свойств грунта на колебания лесовозного автопоезда // Лесн. журн.—1984.—№ 2.— С. 38—44.— (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Гасанов А. И. О приведенной массе пути // Вестн. ЦНИИ МПС.—1968.—№ 6.— С. 52—53. [4]. Лащенко А. П. Решение задачи определения напряжений и деформаций дорожных одежд и земляного полотна с учетом реологических свойств материалов: Автореф. дис... канд. техн. наук.—М., 1983.—21 с. [5]. Леонович И. И., Лащенко А. П., Казанникова Е. А. Пакет прикладных программ для определения напряженно-деформированного состояния сложных систем (дорожных одежд и земляного полотна) с учетом реологических свойств материала // Информ. бюл. Госфонд

алгоритмов и программ СССР.— М., 1982.— Вып. 1 (45).— 44 с. [6]. Николюк В. С. Исследование динамической нагруженности трансмиссии и ходовой части лесовозного автопоезда типа МАЗ в горных условиях: Автореф. дис... канд. техн. наук.— Краснодар, 1981.— 20 с. [7]. Семенов В. М., Кондрашкин С. И., Контанисов С. П. О динамике автомобиля как колебательной системы со многими степенями свободы // Автомоб. пром-сть.— 1976.— № 4.— С. 21—23. [8]. Техан В. С. Динамическое взаимодействие лесовозного автопоезда КРАЗ-255П + ГКБ-9383 с гравийной дорогой и обоснование их некоторых параметров: Автореф. дис... канд. техн. наук.— М., 1984.— 21 с.

Поступила 15 мая 1987 г.

УДК 630\*375.4

## ПОВЫШЕНИЕ РЕЙСОВОЙ НАГРУЗКИ НА ТРЕЛЕВОЧНЫЕ МАШИНЫ

Л. В. КОРОТЯЕВ

Архангельский лесотехнический институт

Выработку трелевочных машин можно поднять, как известно, увеличивая число пачек деревьев или хлыстов, стрелеванных за смену (число рейсов, циклов в смену), и объем пачки (рейсовую нагрузку на трелевочную машину). Способы увеличения объема трелеваемой пачки до настоящего времени не были достаточно изучены и рассматриваются в данной статье на основе многолетних теоретических и экспериментальных исследований, выполненных автором.

Самый энергоемкий процесс трелевки — перемещение пачки от места валки деревьев до лесопогрузочного пункта. При тракторной трелевке 60...70 %, а при канатной почти вся энергия расходуется на преодоление сопротивления движению пачки. Из уравнения работы, совершаемой трелевочным средством по преодолению сопротивления движению при трелевке в полупогруженном и полуподвешенном положении по горизонтальному волоку, получим:

$$F_m = [k\mu_m + (1 - k)\mu]G,$$

где  $F_m$  — сила тяги трелевочной машины на крюке, Н;  
 $k$  — доля веса пачки, приходящаяся на машину;  
 $\mu_m$  — коэффициент сопротивления движению машины;  
 $1 - k$  — доля веса пачки, приходящаяся на волок;  
 $\mu$  — коэффициент сопротивления движению (КСД) пачки;  
 $G$  — вес пачки (рейсовая нагрузка на трелевочную машину), Н,  
 или, упрощенно, без учета  $k\mu_m G$ :

$$F = (1 - k)G\mu = W,$$

где  $F$  — составляющая тягового усилия машины, параллельная трелевочному пути, необходимая для волочения пачки и равная сопротивлению ее движения  $W$ , Н.

Из уравнения работы и баланса сил рейсовая нагрузка  $G = F/(1 - k)\mu$ , а при  $G = V\rho g/\varphi$  объем трелеваемой пачки

$$V = F\varphi/(1 - k)g\mu,$$

где  $\varphi$  — доля стволовой древесины в пачке,  $\varphi = (100 - p_k)/(100 + p_{кр}(1 - 0,01\beta))$ ;

$p_k$  — объем коры, % от объема ствола с корой;

$p_{кр}$  — масса (объем) кроны дерева, % от массы (объема) неокоренного ствола;

$\beta$  — отпад элементов кроны в процессе валки деревьев и формирования пачки, % от массы кроны дерева;

$g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\rho$  — плотность свежесрубленной стволовой древесины, кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, основными критериями, определяющими объем трелеваемой пачки, являются сила тяги трелевочной машины и КСД. Следовательно, рейсовую нагрузку на трелевочную машину и объем трелеваемой пачки можно повысить двумя путями: 1) увеличением мощности двигателя и тягового усилия трелевочной машины; 2) снижением КСД пачки. Первое направление реализуется при совершенствовании трелевочных машин. Второе направление заслуживает не менее серьезного внимания, так как снижение КСД позволит увеличить объем пачки и выработку трелевочных машин при той же силе тяги, без ее повышения.

Сопротивление волочению пачки деревьев (хлыстов) в общем случае складывается из силы трения скольжения  $W$  и лобового сопротивления движению  $W_{л}$ , а коэффициент сопротивления движению — из коэффициента трения  $\mu_{т}$  и коэффициента лобового сопротивления движению  $\mu_{л}$ , или, при  $\mu_{л} = W_{л}/P$  ( $P$  — нагрузка на волок от веса волочащейся части пачки, Н):

$$\mu = \mu_{т} + W_{л}/P.$$

Главными природными, технологическими и производственно-техническими факторами, влияющими на КСД пачки, являются: наличие и размеры препятствий на пути движения, сезоны года, вид перемещаемого груза (деревья или хлысты), способ трелевки, вес и размеры пачки, средний объем и число хлыстов (деревьев) в пачке, объем стрелованной по волоку древесины, длительность остановок пачки, направление сдвигающей силы, скорость трелевки и жесткость трелевочной системы. Из них на коэффициент трения влияют факторы, улучшающие или ухудшающие условия скольжения, а на коэффициент лобового сопротивления — факторы, обуславливающие существование лобового контакта и вызывающие изменение его площади и прочности. Взаимное внедрение, деформирование и разрушение при движении микронеровностей, имеющихся на поверхностях деревьев, хлыстов и трелевочного пути, вызывают силу трения. Зацепление вершин хлыстов и сучьев деревьев за препятствия (подрост, пни, кочки и др.) на волоке и заглубление их в грунт или снег обуславливают возникновение лобового сопротивления движению. Наибольшее лобовое сопротивление движению оказывают выступы волока при наземной трелевке (волоком). При трелевке хлыстов в полупогруженном и полуподвешенном положении приподнятые их вершины в препятствия на волоке не упираются, лобовое сопротивление отсутствует, КСД не зависит от макрошероховатости пути движения и параметров пачки и равен коэффициенту трения. При перемещении пачки деревьев теми же способами и при наземной трелевке чачек деревьев или хлыстов имеет место лобовое сопротивление, вследствие упирания сучьев и вершин в неровности волока и зарезания в грунт или снег. В этом случае КСД зависит от макрошероховатости волока и параметров пачки. Зависимость КСД от веса пачки (рейсовой нагрузки) при  $P = (1 - k) G$

$$\mu = \mu_{т} + W_{л}/(1 - k) G,$$

а от ее объема при  $G = V\rho g/\varphi$

$$\mu = \mu_{т} + W_{л}\varphi/(1 - k) Vg\rho.$$

Объем пачки может увеличиваться или уменьшаться в результате изменения в ней числа деревьев (хлыстов)  $n$  и среднего их объема

$V_x$ . Для данного лесозаготовительного предприятия или целой лесорастительной зоны средний объем хлыста — величина более или менее постоянная  $V_{x_{пост}}$ . Поэтому зависимость КСД от объема и других параметров пачки при  $V_{x_{пост}}$  представляет наибольший практический интерес для лесозаготовительного производства. Уравнение связи и опыты показывают, что при наземной трелевке хлыстов и любом способе трелевки деревьев\* и одинаковом объеме ствола с увеличением веса и объема пачки КСД гиперболически снижается (за счет уменьшения  $\mu_d$ ), стремясь в пределе к коэффициенту трения скольжения. При достаточно большом весе и объеме пачки второй член в формулах связей будет мал ( $\mu_d \cong 0$ ) и величина КСД при неизменных условиях скольжения становится более или менее постоянной, равной коэффициенту трения. Момент, при котором КСД принимает минимальное и стабильное значение  $\mu_t$  и при дальнейшем увеличении веса и объема пачки практически более не снижается, определяет размер критической рейсовой нагрузки. По нашим опытным данным, она равна 6...7 м<sup>3</sup>. Эта нагрузка является тем минимумом, при котором КСД и удельные затраты энергии на перемещение пачки становятся наименьшими и при увеличении ее объема сверх критического остаются неизменными. Динамометрирование трактора показало, что для перемещения в зимнее время пачки деревьев объемом 2 м<sup>3</sup> требуется усилие 22 кН, объемом 6 м<sup>3</sup> — 33 кН, т. е. в 1,5 раза больше, тогда как объем пачки возрос в 3 раза; удельные энергозатраты в этом случае снизились в 2 раза. Следовательно, для снижения КСД и удельных затрат энергии и повышения производительности трелевочных средств рейсовые нагрузки надо увеличивать до критического размера и выше.

С увеличением числа деревьев в пачке при постоянном их среднем объеме КСД также гиперболически снижается. Это явление объясняется тем, что из большого числа деревьев (хлыстов) образуется многорядная пачка и лишь нижние контактируют с поверхностью волока.

Объем пачки, сформированной из одинакового числа мелких или крупных деревьев (хлыстов), не оказывает влияния на КСД ( $\mu = 0,66$  летом и  $\mu = 0,64$  зимой). Очевидно, что целесообразно формировать пачки из одинакового числа деревьев (хлыстов) одной крупности.

По лесорастительным зонам и лесосырьевым базам лесозаготовительных предприятий средний объем хлыста меняется. В этом случае практическое значение имеет зависимость КСД от параметров пачки при одинаковом ее объеме и переменном среднем объеме хлыста. При одинаковом объеме пачки с увеличением объема хлыста КСД понижается по гиперболе, вследствие уменьшения числа деревьев (хлыстов) в пачке, числа лобовых контактов и  $\mu_d$ . Следовательно, в зонах с мелкими лесонасаждениями КСД больше, чем в зонах с крупномерными насаждениями. С увеличением числа хлыстов (деревьев) в пачке и одновременным уменьшением их среднего объема КСД возрастает линейно в результате увеличения числа зацеплений и лобового сопротивления, причем интенсивнее в зимнее время. В данном случае для снижения КСД, в первую очередь в зонах с мелкими древостоями, необходимо готовить волока на ширину пачки, срезая деревья и подрост заподлицо с поверхностью земли, а если это экономически невыгодно, то повсеместно, даже при сборе деревьев (хлыстов) в пачку, применять трелевку в полупогруженном положении за вершину или переходить на транспортировку их в полностью погруженном положении. При этом КСД не зависит от ориентации деревьев или хлыстов (комлями или

\* Перемещение деревьев и хлыстов в полностью погруженном или подвешенном положении трелевкой не является.

вершинами вперед), но при трелевке вершиной вперед рейсовая нагрузка на машину больше, при условии одинакового использования ее грузоподъемности. Характер зависимости КСД от объема и числа деревьев (хлыстов) в пачке говорит, в частности, о целесообразности трелевки мелких деревьев (хлыстов) вместе с крупными, что обеспечит некоторое снижение КСД и повышение рейсовой нагрузки.

Увеличение объема древесины  $Q$ , стрелеванной по волоку, приводит к качественному изменению его поверхности в процессе трелевки и изменению КСД. Максимальное сопротивление  $W_{max}$  и  $\mu_{max}$  наблюдается при волочении пачки прямо по вырубке или первой пачке по трелевочному волоку, когда выступы волока еще не деформированы и не разрушены, а его поверхность не сглажена. По мере увеличения числа пачек и объема стрелеванной по участкам волока древесины до оптимального  $Q_{opt}$  его поверхность прирабатывается, условия скольжения улучшаются и КСД снижается до  $\mu_{min}$  по закону

$$\mu = \mu_{max} - (\mu_{max} - \mu_{min}) k_n,$$

где  $k_n$  — коэффициент, учитывающий влияние  $Q$  на КСД,  $k_n \cong Q/Q_{opt}$ .

В летнее время процесс приработки сопровождается износом мохового покрова и снижение КСД происходит до появления на волоке пятен обнаженного подстилающего грунта. В момент их появления величины  $\mu_r$ ,  $W_d$  и  $\mu$  принимают минимальное значение  $\mu_{rmin}$ ,  $W_{dmin}$ ,  $\mu_{min}$ , а объем  $Q$  — оптимальное, равное 80...85 м<sup>3</sup>.

Расчетные значения  $\mu$  зависят от способа разработки пачки и организации работ. При освоении пачки с ближнего от лесопогрузочного пункта конца с продвижением в глубь ее каждая пачка вначале перемещается по неприработанному участку волока. В этом случае  $Q = 0$ ,  $k_n = 0$  и  $\mu = \mu_{max}$ . При разработке пачки с дальнего конца пачки перемещаются по более или менее наезженному волоку и КСД их с увеличением  $Q$  снижается от  $\mu_{max}$  при  $Q = 0$  до  $\mu_{min}$  при  $Q = Q_{opt}$ , составляя в среднем  $(\mu_{max} + \mu_{min})/2$ .

По нашим опытным данным, при трелевке в полупогруженном положении деревьев за комли  $\mu_{max} = 0,89$ ,  $\mu_{min} = 0,38$ ; хлыстов за вершины  $\mu_{max} = \mu_{rmax} = 0,44$  и  $\mu_{min} = \mu_{rmin} = 0,25$  зимой и  $\mu_{max} = \mu_{rmax} = 0,53$  и  $\mu_{min} = \mu_{rmin} = 0,32$  летом.

С увеличением числа и размеров пятен и дальнейшего обнажения грунта при  $Q > Q_{opt}$  коэффициент трения, а следовательно, и  $\mu$ , возрастает до определенного предела, вследствие большего значения  $\mu_r$  при волочении пачки по грунту в сравнении с движением по моховому покрову, и стабилизируется при полном его износе, принимая постоянное значение  $\mu_r$ , равное 0,49. В зимнее время с увеличением  $Q$  условия скольжения по волоку с его приработкой непрерывно улучшаются и КСД монотонно снижается. При  $Q = Q_{opt} = 130...150$  м<sup>3</sup> КСД достигает минимума  $\mu_{rmin}$  и при дальнейшем увеличении  $Q$  сверх  $Q_{opt}$  практически не снижается. Для повышения рейсовой нагрузки с учетом связи  $\mu(Q)$  рекомендуется: 1) трелевку вести с дальнего от лесопогрузочного пункта конца пачки, так как в этом случае все пачки, кроме первой, пройдут по накатанному волоку при меньшем значении КСД, чем при трелевке с ближнего конца; 2) в летнее время осваивать пачки с запасом древостоя, не превышающим  $Q_{opt}$  так как с увеличением  $Q$  только в пределах от нуля до  $Q_{opt}$  КСД снижается; длина пачки  $l_n$  при известных ее ширине  $b_n$  (например 30 м) и запасе на 1 га  $Q_{га}$ , в этом случае определится из соотношения:  $l_n = 10\,000 Q_{opt}/b_n Q_{га}$ . В зимнее время  $l_n$  и  $Q$  не ограничиваются.

С продолжительностью времени покоя пачки КСД увеличивается по экспоненциальному закону, возрастая от 1,09 до 1,65 зимой и до

1,47 летом при трелевке пачек деревьев комлями вперед и от 0,85 до 1,49 зимой и от 0,8 до 1,2 летом при трелевке пачек хлыстов за вершины. Наиболее интенсивно КСД растет при увеличении времени покая до 20 мин. Для снижения КСД и повышения рейсовых нагрузок необходимо сводить до минимума разрыв времени между валкой и трелевкой и продолжительность остановок пачки в пути. Это достигается при трелевке ВТМ. Продольный сдвиг с места одиночных деревьев, хлыстов и пачек требует наибольшего усилия, так как контактные связи между деревьями (хлыстами) и поверхностью земли (снега) разрушаются одновременно. Значения КСД ниже в случае приложения тангенциальной сдвигающей силы под углом к продольной оси дерева, хлыста, пачки. С увеличением угла от нуля до  $90^\circ$  КСД снижается от 1,56 до 0,67 по квадратной косинусоиде, так как контактные связи разрушаются поочередно, вследствие поперечного изгиба деревьев (хлыстов) в процессе сдвига. При валке деревьев комлями на подкладку, при их сдвиге под разными углами КСД не меняется и равен 0,86. Для уменьшения КСД и увеличения рейсовых нагрузок пачки и одиночные деревья (хлысты) при трелевке за вершины нужно приподнимать вверх или сдвигать в сторону под возможно большим углом к продольной оси, если этому не мешают пни, нет подроста или не требуется его сохранение, а при трелевке тракторами с чокерной оснасткой деревьев за комли валить их на подкладочный хлыст.

С увеличением скорости КСД снижается экспоненциально, приближаясь к минимальному значению для конкретных условий трелевки  $\mu_{min}$ . Стабильное минимальное значение КСД принимает при критической скорости  $v_{кр}$ , превышение которой не вызывает дальнейшего существенного его снижения. Значения  $v_{кр}$ : при трелевке хлыстов  $\approx 1$  м/с, при трелевке деревьев 1...1,7 м/с зимой и  $\approx 2$  м/с летом. Кривая этой связи очень пологая, поэтому аппроксимирована нами линейным уравнением в пределах до  $v_{кр}$ :

$$\mu = \mu_{max} - (\mu_{max} - \mu_{min}) k_c v,$$

где  $k_c$  — коэффициент, учитывающий влияние скорости на КСД: при  $v < v_{кр}$   $k_c = 1/v_{кр}$ , при  $v > v_{кр}$   $k_c = 1/v$ .

Для снижения КСД с целью повышения рейсовых нагрузок необходимо увеличивать скорость трелевки до критического значения и выше. Повышение скорости приведет, кроме того, к увеличению числа рейсов.

Использование закономерностей изменения КСД под влиянием различных факторов и опытных данных позволит установить такие значения этих факторов, при которых  $\mu \cong \mu_{min}$  и, реализуя их на практике, снизить КСД и тем самым повысить рейсовую нагрузку (объем пачки) и производительность трелевочных машин, а также уменьшить энергозатраты на трелевку.

УДК 539.3

**К РАСЧЕТУ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ  
КОНСТРУКЦИИ МАНИПУЛЯТОРА  
ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ**

М. В. КОНДАКОВ

Московский лесотехнический институт

Одна из ключевых задач проектного расчета манипуляторов для лесной, деревообрабатывающей и мебельной промышленности — определение динамического нагружения конструкции, достигающее экстремальных значений, как правило, при переходных процессах. Достаточно полное описание динамического нагружения конструкции манипулятора можно провести на основе расчетной модели, состоящей из балочных элементов с переменными по длине массово-жесткостными характеристиками и дискретными включениями. Уравнение движения такой модели получено в работе [1] в достаточно общих предположениях и сведено к каноническому матричному виду

$$[M] \frac{\partial^2 \vec{y}}{\partial t^2} + L \vec{y} = \vec{F}, \tag{1}$$

где

$$L = [A] \frac{\partial^2}{\partial x^2} + [B] \frac{\partial}{\partial x} + [C].$$

В случае плоского движения вектор решения  $\vec{y}$  имеет вид

$$\vec{y} = (u, w, \psi, u^1, w^1, \psi^1, \dots, u^k, w^k, \psi^k)^T, \tag{2}$$

где  $u, w, \psi$  — продольное, поперечное и угловое перемещения поперечного сечения;

$u^i, w^i, \psi^i$  — соответствующие перемещения  $i$ -го осциллятора;  
 $k$  — число осцилляторов в системе.

Уравнение (1) вместе с граничными и начальными условиями полностью определяют смешанную задачу, описывающую движение упругого манипулятора. Однако для непосредственного интегрирования уравнения (1) требуется решение краевой задачи на каждом шаге интегрирования по времени, что делает численную реализацию такого подхода весьма ресурсоемкой (по времени счета и объему памяти ЭВМ) и дорогостоящей.

Рассмотрим более рациональный подход к решению задачи, основанный на переходе от смешанной задачи для уравнения (1) в частных производных к задаче Коши для уравнений в обыкновенных производных.

Выбор метода решения уравнения (1) зависит от свойств оператора  $L$ , областью определения  $D_L$  которого является класс функций:

$$\vec{\xi}_i = (u_i, w_i, \psi_i, u_i^1, w_i^1, \psi_i^1, \dots, u_i^k, w_i^k, \psi_i^k)^T, \tag{3}$$

определенных на  $x \in [0, l]$ ,  $\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$  выражением (2) и удовлетворяющих граничным условиям.

Будем считать, что рассматриваемая механическая система манипулятор — груз имеет шарнирно закрепленный левый и свободный правый край

$$u|_{x=0} = w|_{x=0} = EI \frac{\partial \psi}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0; \quad (4)$$

$$EF \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l} = EI \frac{\partial \psi}{\partial x} \Big|_{x=l} = \beta GF \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right) \Big|_{x=l} = 0.$$

Граничные условия (4) являются главными, что не ограничивает общности дальнейших построений.

Поскольку область определения  $D_L$  нетривиальна, отметим некоторые свойства оператора  $L$ . Найдем скалярное произведение на классе функций  $\vec{\xi}_i$  (3) по формуле

$$(\vec{\xi}_i, \vec{\xi}_p) = \int_0^l (u_i u_p + w_i w_p + \psi_i \psi_p) dx + \sum_{k=1}^K (u_i^k u_p^k + w_i^k w_p^k + \psi_i^k \psi_p^k) \quad (5)$$

и рассмотрим скалярное произведение

$$(L\vec{\xi}_i, \vec{\xi}_p) = \int_0^l (L\vec{\xi}_i) \vec{\xi}_p dx = \int_0^l ([A] \vec{\xi}_i'' \vec{\xi}_p + [B] \vec{\xi}_i' \vec{\xi}_p' + [C] \vec{\xi}_i \vec{\xi}_p) dx, \quad (6)$$

где  $(\ )' = \frac{d}{dx}$ ;  $(\ )'' = \frac{d^2}{dx^2}$ .

Учитывая структуру матриц  $[A]$ ,  $[B]$ ,  $[C]$ , приведенную в работе [1], и граничные условия (4), из выражения (6) можно получить для оператора  $L$  свойства симметрии:

$$(L\vec{\xi}_i, \vec{\xi}_p) = (L\vec{\xi}_p, \vec{\xi}_i) \quad (7)$$

и ограниченности снизу:

$$(L\vec{\xi}_i, \vec{\xi}_i) \geq 0. \quad (8)$$

Перечисленные свойства оператора  $L$  позволяют для решения уравнения движения (1) с граничными условиями (4) обоснованно использовать обобщенный метод Галеркина [3]. Следуя ему, решение задачи (1), (4) отыскиваем в виде ряда:

$$\vec{y} = \sum_{i=1}^{\infty} a_i(t) \vec{\xi}_i(x), \quad (9)$$

коэффициенты которого  $a_i(t)$  называют обычно обобщенными координатами. В качестве системы базисных функций выберем пространство собственных векторов  $\vec{\xi}_i$  оператора  $L$ , определяемых, как известно, уравнением:

$$-\lambda_i^2 [M] \vec{\xi}_i(x) + L\vec{\xi}_i(x) = 0. \quad (10)$$

Собственные векторы  $\vec{\xi}_i$  отвечают требованиям метода Галеркина, удовлетворяя всем граничным условиям задачи (как главным, так и естественным) и образуя полную систему. В силу симметрии оператора  $L$  (7) собственные векторы  $\vec{\xi}_i$  образуют ортогональную (в нашем случае с весом  $[M]$ ) систему:

$$([M] \vec{\xi}_i, \vec{\xi}_n) = \begin{cases} 0, & i \neq n \\ M_n, & i = n. \end{cases} \quad (11)$$

Подставляя (9) в (1), умножая скалярно обе части уравнения на  $\vec{\xi}_n$  и учитывая (10) и свойства ортогональности (11), получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений для  $a_n(t)$  в виде

$$\ddot{a}_n + \lambda_n^2 a_n = f_n, \quad n = 1, 2, \dots, \infty, \quad (12)$$

где 
$$\ddot{a}_n = \frac{d^2 a_n}{dt^2}; \quad f_n = (\vec{F}, \vec{\xi}_n) M_n^{-1}.$$

Эта система уравнений описывает незатухающие колебания упругого манипулятора. Вводя затухание для каждого тона колебаний [2] по теории вязкого трения, запишем систему уравнений для  $a_n(t)$  в окончательном виде:

$$\ddot{a}_n + 2b_n \dot{a}_n + \lambda_n^2 a_n = f_n, \quad n = 1, 2, \dots, \infty, \quad (13)$$

где  $b_n = \frac{h_n \lambda_n}{2\pi}$ ,  $h_n$  — декремент колебаний по  $n$ -му тону.

Для интегрирования системы (13) необходимо знать начальные условия в терминах обобщенных координат  $a_i$  и их скоростей  $\dot{a}_i$ . Для задач о динамическом нагружении упругой системы манипулятор — груз начальные условия можно сформулировать одним из следующих способов.

Если в начальный момент времени заданы поля перемещений и скоростей механической системы

$$\vec{y}(x, 0) = \vec{y}_0; \quad \dot{\vec{y}}(x, 0) = \dot{\vec{y}}_0, \quad (14)$$

то начальные значения  $a_i$  и  $\dot{a}_i$  можно определить как коэффициенты разложения в обобщенный ряд Фурье векторов  $\vec{y}_0$  и  $\dot{\vec{y}}_0$  по системе собственных функций  $\vec{\xi}_i$  (3) в виде:

$$a_i(0) = ([M] \vec{y}_0, \vec{\xi}_i) M_i^{-1}; \quad \dot{a}_i(0) = ([M] \dot{\vec{y}}_0, \vec{\xi}_i) M_i^{-1}, \quad (15)$$

Если в начальный момент времени конструкция нагружена статически уравновешенной системой внешних силовых факторов  $\vec{F}_0 = \vec{F}(x, 0)$ , то начальные значения обобщенных координат можно определить как статическое решение задачи (13) в виде:

$$a_i(0) = f_{i0} \lambda_i^{-2}; \quad \dot{a}_i(0) = 0. \quad (16)$$

Таким образом, задача о движении манипулятора с учетом упругих деформаций конструкции, сформулированная в работе [1], сведена к задаче Коши (13), (15) или (13), (16) для системы обыкновенных дифференциальных уравнений относительно обобщенных координат  $a_i(t)$ .

Поскольку на характер правой части  $\vec{F}$  уравнения (1) не накладываются ограничения, то если внешние нагрузки, в том числе и управляющие усилия, не зависят от параметров движения и могут быть заданы заранее, система уравнений (13) оказывается несвязанной, и каждое уравнение можно проинтегрировать отдельно, а уже потом составить общее решение (9). В случае зависимости внешних нагрузок  $\vec{F}$  или управляющих усилий от параметров движения система уравнений (13) оказывается связанной. Более того, если внешние или управляющие усилия зависят от поля ускорений конструкции, т. е. от вторых производных обобщенных координат  $\ddot{a}_i(t)$ , то задача Коши (13), (15) или (13), (16) становится нелинейной.

На основе изложенной методики были разработаны алгоритмы и программа расчета динамического нагружения манипуляторов при переходных процессах с учетом упругих деформаций конструкции. Про-

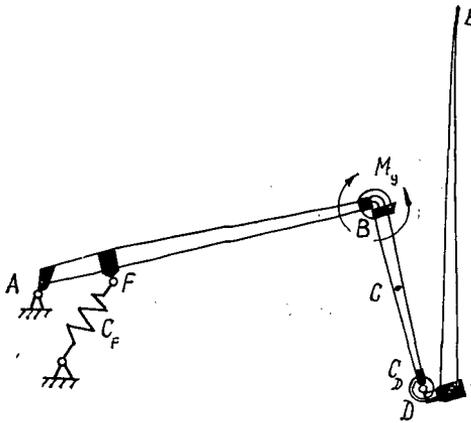


Рис. 1

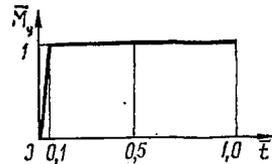


Рис. 2

грамма реализована в системе ФОРТРАН-ОС на ЭВМ ЕС-1033 ВЦ МЛТИ.

В качестве примера работы программы рассмотрим нагружение манипулятора валочно-пакетирующей машины, расчетная схема которого представлена на рис. 1. Исходные данные системы выбраны в диапазоне реальных величин существующих конструкций. Расчетная схема системы состоит из двух балок  $AB$  и  $BD$ , схематизирующих конструкцию манипулятора, и балки  $DE$ , схематизирующей переносимый хлыст. Приняты следующие основные параметры системы:

длины элементов:

$$l_{AB} = 9 \text{ м}; \quad l_{BD} = 5 \text{ м}; \quad l_{DE} = 10 \text{ м};$$

диапазоны изменения погонной массы:

$$\rho_{AB} = 40 \dots 50 \text{ кг/м}; \quad \rho_{BD} = 30 \dots 40 \text{ кг/м}; \quad \rho_{DE} = 10 \dots 130 \text{ кг/м};$$

диапазоны изменения продольной жесткости:

$$EF_{AB} = (1,0 \dots 1,3) \cdot 10^8 \text{ Н}; \quad EF_{BD} = (0,75 \dots 1,0) \cdot 10^8 \text{ Н};$$

$$EF_{DE} = (0,8 \dots 8) \cdot 10^9 \text{ Н};$$

диапазоны изменения изгибной жесткости:

$$EI_{AB} = (0,5 \dots 1,5) \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}^2; \quad EI_{BD} = (2 \dots 5) \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}^2;$$

$$EI_{DE} = 10^6 \dots 10^8 \text{ Н} \cdot \text{м}^2.$$

Упругость гидропривода схематизируется жесткостями:

$$C_F = 5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}; \quad C_B = 3 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}; \quad C_D = 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}.$$

Кроме того, в систему введены сосредоточенные массы, характеризующие усиливающие элементы конструкции в местах соединения звеньев.

Рассмотрим переходный процесс в конструкции, обусловленный включением управляющего момента  $M_y$  в шарнире  $B$ . Характер изменения  $M_y$  от времени показан на рис. 2. Поскольку определяющий вклад в динамическое нагружение удлиненных конструкций вносят, как правило, изгибающие моменты в сечениях, рассмотрим именно их действие.

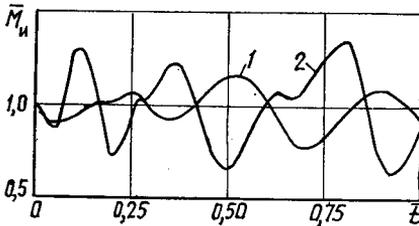


Рис. 3

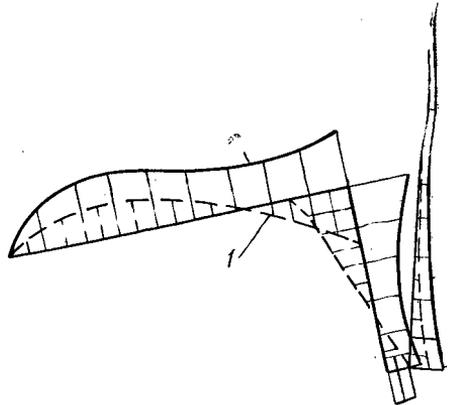


Рис. 4

На графиках рис. 3 показан характер изменения динамической составляющей изгибающего момента в середине звена  $BD$  — точке  $C$  (рис. 1). Относительное значение  $\bar{M}_n = 1$  соответствует величине изгибающего момента для жесткой расчетной схемы. Кривая 1 соответствует учету в расчетной схеме упругости гидросистемы, кривая 2 — учету упругости и гидросистемы и конструкции манипулятора и хлыста.

Сравнение результатов показывает, что неучет упругости конструкции ведет к существенному занижению (в нашем примере до 30 %) расчетной оценки динамических нагрузок.

На рис. 4 показаны эпюры динамической составляющей изгибающего момента, обусловленной упругостью конструкции. Кривая 1 соответствует распределению динамической составляющей изгибающего момента по длине системы. Эпюра построена для момента времени  $\bar{t} = 0,1$  выхода управляющего момента  $M_y$  на стационарное значение (рис. 2). Кривая 2 соответствует распределению экстремальных значений (без учета знака) динамической составляющей изгибающего момента на рассматриваемом интервале времени  $\bar{t} \in [0, 1]$ .

Эпюра 2 позволяет сделать выводы об уровне динамических нагрузок и, соответственно, о запасах прочности в любом сечении системы для рассмотренного случая нагружения.

В заключение можно отметить следующее.

1. Динамическая составляющая, обусловленная упругими колебаниями системы, вносит существенный вклад в нагружение конструкции манипулятора, поэтому проектный расчет прочности необходимо вести с учетом упругих деформаций.

2. Манипуляторы для лесной, деревообрабатывающей и мебельной промышленности отличаются относительно большим удлинением звеньев, что обуславливает весьма низкие частоты свободных колебаний. При этом расчетные схемы для определения нагрузок, лишь частично учитывающие упругие свойства системы, например только податливость гидропривода и деформации по основному тону колебаний, не имеют физического смысла. Расчетная модель должна достаточно полно отражать характер упругого деформирования системы [1].

3. Изложенный метод перехода от смешанной задачи для дифференциальных уравнений в частных производных к задаче Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений позволяет построить достаточно эффективный алгоритм расчета динамического нагружения манипулятора с учетом упругого деформирования конструкции.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Кондаков М. В. Расчетная схема упругого манипулятора // Лесн. журн.— 1988.— № 6.— С. 36—41.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Микишев Г. Н. Экспериментальные методы в динамике космических аппаратов.— М.: Машиностроение, 1978.— 247 с. [3]. Михлин С. Г. Вариационные методы в математической физике.— М.: Наука, 1970.— 512 с.

Поступила 2 июня 1987 г.

УДК 625.7/8

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Е. И. ШЕЛОПАЕВ

Красноярский инженерно-строительный институт

Эксплуатационную надежность автомобильных дорог оценивают мерой вероятности  $P$ , при которой дорожное покрытие обеспечит требуемую скорость движения автомобилей в течение срока между капитальными ремонтами.

Критерий надежности автомобильной дороги за срок службы  $T_{сл}$  можно определить из условия [3]

$$H = P(v_{\text{факт}} > v_{\text{опт}}) \geq [H],$$

где  $H$  — фактический уровень надежности автомобильной дороги по скорости движения автомобилей;

$v_{\text{факт}}$  — фактическая скорость движения автомобилей;

$v_{\text{опт}}$  — оптимальная скорость движения автомобиля по критерию минимума дорожно-транспортных затрат;

$[H]$  — допустимый минимальный уровень надежности автомобильной дороги в зависимости от ее конструкции.

Вероятность, при которой фактическая скорость движения автомобилей больше оптимальной, определяется зависимостью [3]:

$$P(v_{\text{факт}} > v_{\text{опт}}) = 1 + \Phi\left(\frac{v_{\text{min факт}} - v_{\text{ср. факт}}}{\sigma_v}\right) - \Phi\left(\frac{v_{\text{опт}} - v_{\text{ср. факт}}}{\sigma_v}\right),$$

где  $\Phi(X) = \frac{1}{2\pi} \int_0^X \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) dU$  — функция Лапласа;

$\sigma_v$  — среднее квадратичное отклонение скорости движения автомобилей.

Наибольшее влияние на вертикальные деформации дорожного покрытия оказывают модуль упругости  $E_y$ , сцепление  $C$  и угол внутреннего трения  $\varphi$  грунта земляного полотна. В свою очередь, они зависят от типа грунта, его влажности  $W$  и плотности  $\delta$ . Поэтому для решения вопросов обеспечения надежности дорожной одежды и земляного полотна необходимо знать зависимости

$$E_y = f(W, \delta); \quad \sigma_E^2 = \psi(W, \delta),$$

где  $\sigma_E^2$  — дисперсия модуля упругости.

Обычно уровень надежности дорожной одежды характеризуется коэффициентом вариации:  $C_E = \sigma_E / E_{\text{ср}}$ , где  $\sigma_E$  — среднее квадратичное отклонение;  $E_{\text{ср}}$  — средний модуль упругости.

При надежности дорожной одежды с щебеночным или гравийным покрытием, равным 0,90, коэффициент вариации составит 0,23 и дорожная одежда находится в хорошем эксплуатационном состоянии, тогда как для переувлажненного грунта земляного полотна надежность снижается до 0,70 и значение  $C_E$  составляет 0,50.

Расчетную влажность грунта  $W_p$  следует устанавливать в наиболее неблагоприятный весенний период года при оттаивании земляного полотна на  $3/4$  глубины его промерзания. Ее определяют по формуле [1]

$$W_p = W_{cp} (1 + 0,1t),$$

где  $t$  — коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от заданного уровня проектной надежности конструкции дорожной одежды;

$W_p$  — средняя влажность грунта в долях от границы текучести,

$$W_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i,$$

$n$  — число испытаний;

$W_i$  — значение влажности грунта в отдельном году.

При проектировании дорожных одежд требуемый уровень надежности  $K_n$ , определяющий минимальное значение коэффициента прочности  $K_{пр}$ , которое дорожная одежда должна иметь к концу срока эксплуатации между капитальными ремонтами, принимают по табл. 1 [1].

Таблица 1

Тип одежды и покрытия	$K_n$	$K_{пр}$
Одежды облегченного типа. Покрытие из щебня, гравия и песка, обработанных вяжущими материалами	0,85	0,90
Одежды переходного типа. Покрытие из щебня или гравия	0,60	0,63

Исследованиями [3] установлено, что значения модуля упругости распределяются по нормальному закону:

$$P(E_{тр}) = 1 - \frac{1}{\sigma_E \sqrt{2\pi}} \int_{E_{min}}^{E_{тр}} \exp \left[ -\frac{(E - E_{cp})^2}{2\sigma_E^2} \right] dE.$$

Зависимости для определения математического ожидания эквивалентного фактического модуля упругости дорожной конструкции  $mE_{эф}$  от среднего модуля упругости дорожной одежды  $mE_{cp}$ , модуля упругости грунта земляного полотна  $mE_0$  и толщины конструктивных слоев дорожной одежды  $m\Sigma h_l$  можно получить по формулам:

$$\frac{\partial mE_{эф}}{\partial mE_0} = \frac{1}{A} \left[ 1 - 1,4 \left( \frac{mE_{cp}}{mE_0} \right)^{0,4} \frac{2}{\pi} \arctg \frac{m\Sigma h_l}{D} \right],$$

где  $A = \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \left[ \left( \frac{mE_{cp}}{mE_0} \right)^{0,4} - \frac{mE_0}{mE_{cp}} \right] \arctg \frac{m\Sigma h_l}{D} \right\}^2;$

$$\frac{\partial mE_{эф}}{\partial mE_{cp}} = \frac{1}{A} \left\{ \frac{2}{\pi} \arctg \frac{m\Sigma h_l}{D} \left[ 0,4 \left( \frac{mE_{cp}}{mE_0} \right)^{-0,6} + \frac{mE_0^2}{mE_{cp}^2} \right] \right\},$$

где  $mE_{эф}$ ,  $mE_{ср}$ ,  $mE_0$ ,  $m\Sigma h_i$  — математическое ожидание случайных параметров эквивалентного фактического модуля упругости, среднего модуля упругости дорожной одежды, модуля упругости грунта земляного полотна и толщин всех слоев дорожной одежды;

$D$  — диаметр круга, равновеликого по площади отпечатку колеса расчетного автомобиля.

Допустимые отклонения фактических эквивалентных модулей упругости  $E_{эф}$  от расчетных  $E_p$  с учетом требований надежности работы дорожной одежды  $P(E)$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

Надежность работы одежды $P(E)$	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,0
Коэффициент запаса прочности $K_{пр}$	1,0	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08	1,10	1,12	1,15	1,19	1,25	1,35

Применим рассмотренные теоретические положения к автомобильным дорогам, находящимся в суровых природных условиях Сибири.

В настоящее время расчеты толщин дорожных одежд выполняют согласно «Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа» ВСН 46—83 [1], по одномерным схемам, которые учитывают в основном характеристики грунтов на оси дороги. Это приводит к снижению толщины дорожной одежды на стадии проектирования, поэтому в период эксплуатации она преждевременно разрушается, так как не обеспечена ее надежность. Более правильно принимать расчетные характеристики не на оси дороги, а на расстоянии 1 м от края проезжей части, где динамические нагрузки от колес лесовозного автомобильного транспорта и, следовательно, разрушения покрытия наибольшие. Это можно учесть только в двухмерных расчетных схемах, для которых, по сравнению с одномерными, влажность грунтов больше на 38 %, а модуль их упругости меньше на 16 % в насыпях, на 28 % в нулевых местах и на 37 % в выемках [6].

Автомобильные дороги, находящиеся в суровых природных условиях Сибири, разрушаются значительно быстрее, чем в европейской части СССР, так как из-за высокой влажности грунтов модуль упругости и коэффициент прочности снижаются (рис. 1) [5]. В связи с этим для Сибири дорожные одежды со щебеночно-гравийным покрытием, обработанные вяжущими материалами, необходимо проектировать несколько большей общей толщиной. Наиболее экономично это можно выполнить за счет увеличения нижнего слоя из местных дренирующих песчано-гравийных материалов. При этом коэффициент прочности  $K_{пр}$  повышается до 1,0, тогда как в одномерной схеме он составляет только 0,91 [6]. Тогда, согласно рис. 1, при  $K_{пр} = 1,0$  площадь деформированного покрытия  $\omega = 5,0$  % для двухмерной схемы; при  $K_{пр} = 0,91$   $\omega = 7,6$  % для одномерной схемы.

Скорость движения лесовозных автопоездов КамАЗ-5410 + ТМЗ-802 составит 65 км/ч для двухмерной схемы и 56 км/ч для одномерной схемы. С появлением деформаций и разрушений на проезжей части дороги снижается эквивалентный модуль упругости дорожной одежды и скорость движения автомобилей (рис. 2) [3, 6].

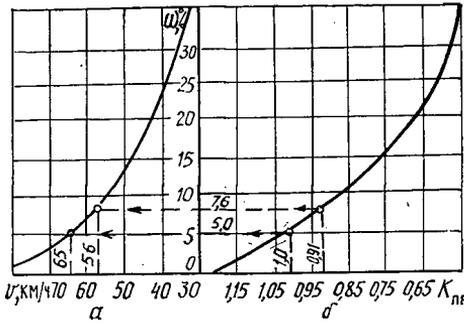


Рис. 1. Зависимость между скоростью движения автомобилей  $v$  и площадью разрушения участков дороги  $\omega$  (а), между площадью разрушения  $\omega$  и коэффициентом прочности  $K_{пр}$  (б) для усовершенствованного облегченного типа покрытия во II дорожно-климатической зоне Сибири (по данным Н. А. Пузакова [4] и О. М. Третьяка [5])

Для рассматриваемого примера при  $E_{экр} = 225$  МПа (рис. 2) ровность покрытия  $S = 120$  см/км, а скорость движения автомобилей  $v = 55$  км/ч (двухмерная задача); при  $E_{экр} = 205$  МПа  $S = 180$  см/км,  $v = 50$  км/ч (одномерная задача), т. е. в первом случае состояние покрытия будет хорошим (так как  $120 < 150$ ), а во втором ( $180 > 150$ ) — удовлетворительным [5, 6].

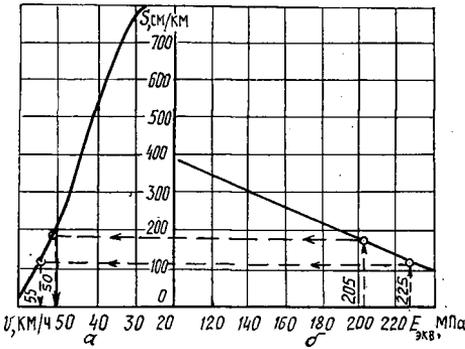


Рис. 2. Зависимость между скоростью движения автомобилей  $v$  и ровностью покрытия  $S$  (а), между ровностью покрытия  $S$  и эквивалентным модулем упругости  $E_{экр}$  (б) для дорожных одежд с усовершенствованным облегченным типом покрытия

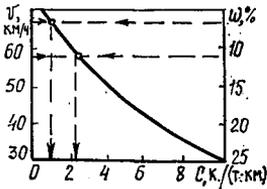


Рис. 3. Зависимость между себестоимостью автомобильных перевозок  $C$ , скоростью движения  $v$  и площадью разрушения покрытия  $\omega$

Площадь разрушения покрытия существенно влияет на скорость движения автомобилей, а следовательно, и на себестоимость автомобильных перевозок (рис. 3) [2].

С учетом рассмотренного примера в практических расчетах значения характеристик грунта  $E_{гр}$ ,  $\varphi_{гр}$ ,  $C_{гр}$ , приведенные в табл. 10 ВСН 46—83, необходимо уменьшить в 1,05 раза [1, 6].

Многолетняя практика показала, что общая толщина морозозащитных слоев дорожной одежды из стабильных материалов должна составлять не менее 80 см.

При выполнении расчетов, согласно рис. 4.3 ВСН 46—83, следует глубину промерзания грунтов увеличить в 1,1 раза, так как под дорожными покрытиями промерзание больше, чем в естественных условиях. Значение климатического параметра  $\alpha_0$ , согласно рис. 4.4 ВСН 46—83, надо уменьшить в 1,8 раза, так как время промерзания влажных грунтов больше за счет выделяющейся скрытой теплоты льдообразования.

При расчете дорожных одежд на осушение следует помнить, что из-за неравномерности оттаивания земляного полотна вода скапливается под дорожной одеждой и отвод ее возможен только после полного оттаивания водоотводящих устройств. Поэтому расчет дренажного слоя наиболее целесообразно выполнять по методу поглощения, применяя пески с коэффициентом фильтрации  $K_f \geq 6$  м/сут. Значения общего объема воды, поступающего в основание в период оттаивания, а также удельное количество воды, рекомендуемые ВСН 46—83 в табл. 5.1, следует увеличить в 1,15 раза, а не уменьшить на 5...10 %, как это рекомендуется ВСН 46—83.

Предлагаемые уточнения к инструкции позволяют полнее учитывать суровые природные условия лесных районов Сибири, что обеспечивает проектирование дорожных одежд с гарантированной надежностью их в период эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46—83.— М.: Транспорт, 1985.— 157 с. [2]. Матросов А. П., Безбородов Ф. Т. Своевременность ремонта и качество дорожных покрытий // Автомобильные дороги.— 1986.— № 11.— С. 6—7. [3]. Повышение надежности автомобильных дорог / Под ред. И. А. Золотаря.— М.: Транспорт, 1977.— 183 с. [4]. Пузаков Н. А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог.— М.: Автотрансиздат, 1960.— 168 с. [5]. Третьяк О. М. Оценка транспортно-эксплуатационных показателей нежестких дорожных одежд при обосновании оптимального срока их службы // Вопросы проектирования автомобильных дорог: Тр. / СибАДИ.— 1976.— № 7.— С. 81—90. [6]. Шелопаев Е. И. Расчет устойчивости автомобильных дорог в суровых природных условиях: Учеб. пособие.— Красноярск: КПИ, 1983.— 100 с.

Поступила 26 апреля 1988 г.

УДК 62-59 : 621.01.001

### МЕТОД РАСЧЕТА И ПОДБОРА ФРИКЦИОННЫХ ПАР ПРИ СОЗДАНИИ ТОРМОЗНЫХ УЗЛОВ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В. П. БЕЛОКУРОВ, В. М. ПОПОВ

Воронежский лесотехнический институт

Проблема создания высокоэффективных и надежных тормозов на стадии их проектирования сопряжена с подбором оптимального сочетания фрикционных пар трения, обеспечивающих их необходимую износостойкость и долговечность. Оптимальность той или иной фрикционной пары определяется в настоящее время только экспериментально, что приводит зачастую к большим материальным затратам и значительно удлиняет сроки разработки и создания новых конструкций тормозных узлов.

Подбор фрикционных пар обычно ведется по заданным эксплуатационным параметрам: удельной нагрузке  $P_{уд}$ , относительной скорости скольжения  $v_{ск}$  и коэффициенту трения  $\mu$ . Однако эти параметры не увязаны с температурными условиями работы, теплофизическими свойствами пар трения, конструкцией тормозного узла и т. д. Большой набор оценочных показателей затрудняет выбор оптимальной пары трения. Необходимо иметь комплексный показатель, который учитывал бы теплостойкость и теплофизические свойства пар трения, их температурные условия и теплорассеивание.

При работе тормозного узла часть тепла, генерируемого при трении, расходуется на нагрев пар трения, а другая часть рассеивается за счет теплопроводности и конвективного теплообмена, поэтому:

$$dQ_{\text{тр}} = dQ_v + dQ_\lambda + dQ_\alpha. \quad (1)$$

Тепло  $Q_{\text{тр}}$ , выделившееся в тормозном узле за время  $d\tau$  при трении фрикционной пары площадью  $F$ :

$$dQ_{\text{тр}} = \alpha_{\text{т.п}} \mu P_{\text{уд}} v_{\text{ск}} F d\tau, \quad (2)$$

где  $\alpha_{\text{т.п}}$  — коэффициент, учитывающий долю тепла, проходящего через данный фрикционный материал.

Тепло  $Q_v$ , израсходованное на нагревание фрикционного материала:

$$dQ_v = c\gamma V d(t_k - t_n), \quad (3)$$

где  $V = Fh$  — объем фрикционного материала;  
 $h$  — высота фрикционной накладки;  
 $c$  — удельная теплоемкость фрикционного материала;  
 $\gamma$  — плотность фрикционного материала;  
 $t_k$  — конечная температура в паре трения;  
 $t_n$  — температура в начальный период работы фрикционного узла, равная температуре окружающей среды ( $t_n = t_c$ ).

Тепло  $Q_\lambda$ , отведенное за счет теплопроводности из зоны трения, по закону Фурье, равно:

$$dQ_\lambda = -\lambda \frac{dt}{dn} F d\tau,$$

где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности;  
 $\frac{dt}{dn}$  — температурный градиент;  
 $n$  — нормаль к поверхности трения.

Поскольку закон изменения температуры между соседними точками можно приближенно считать линейным, то первую производную с достаточной степенью приближенности заменим конечной разностью:

$$\frac{dt}{dn} \approx \frac{t_k - t_n}{h}.$$

Тогда количество тепла, поступающего в фрикционный элемент за время  $d\tau$  через поверхность площадью  $F$ ,

$$dQ_\lambda = -\lambda \frac{t_k - t_n}{h} F d\tau. \quad (4)$$

На основании закона Ньютона — Рихмана количество тепла  $Q_\alpha$ , рассеивающегося в окружающей среде, можно определить по формуле:

$$dQ_\alpha = \alpha (t_k - t_n) F d\tau, \quad (5)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи.

Подставим выражения (2)–(5) в уравнение (1), которое затем проинтегрируем, используя теорему математического анализа о среднем по максимально допустимой температуре и принимая теплофизические коэффициенты не зависящими от температуры. После преобразований окончательно получим

$$R = \alpha_{\text{т.п}} P_{\text{уд}} v_{\text{ск}} = \frac{t_k - t_n}{\mu} \left[ \frac{c\gamma h}{\tau} + \frac{\lambda}{h} (Bi - 1) \right], \quad (6)$$

где  $R$  — мощность трения фрикционной пары;  
 $Bi = \frac{\lambda}{\alpha} h$  — критерий Био.

Уравнение (6) позволяет установить, какими свойствами должна обладать фрикционная пара при той или иной заданной мощности трения тормозного узла. Левая часть уравнения (6) содержит величины, задаваемые конструктором ( $\alpha_{т.п.}$ ,  $P_{уд.}$ ,  $v_{ск.}$ ), а правая — определяемые технологом. Уравнение содержит теплофизические величины ( $Bi$ ,  $\alpha$ ,  $\lambda$ ,  $t$ ), которые определяют тепловую напряженность узла и позволяют наметить пути его конструктивного совершенствования. Предельно допустимая температура ( $t_k$ ) предварительно может быть рассчитана по заданной работе трения на основе известных аналитических зависимостей [1, 2].

В уравнении (6) составляющая  $\frac{c\gamma h}{\tau}$  характеризует теплоаккумулирующие свойства фрикционного материала, а  $\frac{\lambda}{h}(Bi-1)$  — теплоотсеивающие свойства фрикционного узла в целом. Критерий Био  $Bi = \frac{\alpha}{\lambda} h = \frac{h/\lambda}{1/\alpha}$  является количественной мерой отношения термического сопротивления фрикционного материала  $h/\lambda$  к термическому сопротивлению на поверхности теплообмена ( $1/\alpha$ ).

В качестве примера рассмотрим использование формулы (6) при расчете фрикционной пары трения НСФ-6 (ГОСТ 1786—74) по чугуно СЧ 15-32, применяемой в дисковом тормозе КПП тракторов лесной промышленности и лесного хозяйства ГДТ-55, ЛХТ-55 и т. д. Для этого воспользуемся следующими паспортными данными пар трения: НСФ-6:  $\lambda_2 = 0,725$  Вт/(м · град);  $a_2 = 0,328$  м<sup>2</sup>/с;  $\mu = 0,41$ ;  $c_2 = 962$  Дж/(кг · град);  $\gamma_2 = 2298$  кг/м<sup>3</sup>;  $h_2 = 0,004$  м; СЧ 15-32:  $\lambda_1 = 56,4$  Вт/(м · град);  $a_1 = 15,3 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $c_1 = 521$  Дж/(кг · град);  $\gamma_1 = 7075$  кг/м<sup>3</sup>;  $\tau = 26$  с;  $N = 42$  торможения.

По формуле А. В. Чичинадзе [3] определим  $\alpha_{т.п.}$ :

$$\alpha_{т.п.} = \frac{\sqrt{\lambda_2 c_2 \gamma_2}}{\sqrt{\lambda_1 c_1 \gamma_1} + \sqrt{\lambda_2 c_2 \gamma_2}} = 0,081.$$

Тогда в результате расчета по формуле (6) для  $t_k = 200$  °С (при  $t_n = 20$  °С) получим  $R = 103\,082,9$  Вт/м<sup>2</sup>. С другой стороны,  $R$ , являясь критерием мощности, определяется произведением:

$$R = \alpha_{т.п.} P_{уд.} v_{ск.}$$

Экспериментальное исследование комплексного влияния эксплуатационных факторов  $P_{уд.}$ ,  $v_{ск.}$  и коэффициента взаимного перекрытия  $K_{вз.}$  на тепловой режим и коэффициент трения мы проводили с использованием симплексно-решетчатого метода планирования экспериментов по Шеффе. Матрица планирования, условия экспериментов и полученные при этом результаты представлены в таблице.

По данным таблицы рассчитаны коэффициенты регрессии и построены адекватные квадратичные модели для  $\mu$  ( $y_1$ ) и  $t$  ( $y_2$ )

$$y_1 = 0,37z_1 + 0,38z_2 + 0,36z_3 - 0,1z_1z_2 + 0,16z_2z_3; \quad (7)$$

$$y_2 = 132z_1 + 178z_2 + 200z_3 - 68z_1z_2 - 88z_1z_3 - 172z_2z_3.$$

На основании этих математических моделей (7) построены в псевдокоординатах диаграммы 1 и 2, которые учитывают влияние на  $\mu$  и  $t$  одновременно всех параметров:  $P_{уд.}$ ,  $v_{ск.}$ ,  $K_{вз.}$  при различном значении их варьирования.

Как следует из диаграмм, предварительный расчет критерия мощности  $R$  по паспортным данным дает хорошее совпадение с эксперимен-

Но- мер опы- та	Матрица планиро- вания для псевдовеличин			Условия проведения экспериментов			Результаты прове- дения экспери- ментов	
				Удельное давление $P$ , МПа	Ско- рость сколь- жения $v$ , м/с	Кэффи- циент взаимного перекры- тия $K_{вз}$	Кэффи- циент трения $\mu$	Средняя поверх- ностная темпера- тура $t$ , °С
	$z_1$	$z_2$	$z_3$					
1	1	0	0	0,6	0,25	0,5	0,37	132
2	0	1	0	0,2	6,25	0,5	0,38	178
3	0	0	1	0,2	0,25	1,0	0,36	200
4	0,5	0,5	0	0,4	3,25	0,5	0,35	138
5	0,5	0	0,5	0,4	0,25	0,75	0,365	144
6	0	0,5	0,5	0,2	3,25	0,75	0,41	146
7	0,333	0,333	0,333	0,33	2,25	0,67	0,38	234
8	0,2	0,6	0,2	0,28	3,85	0,6	0,38	140

Примечание.  $K_{вз} = \frac{F_T}{F}$  — отношение площади трения к площади всей рабочей поверхности.

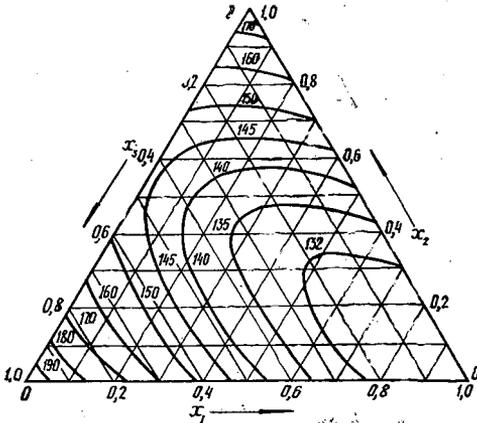


Рис. 2. Зависимость коэф-  
фициента трения для пары  
НСФ-6 по чугуны СЧ 15-32  
от изменения параметров  
 $P$ ,  $v_{ск}$ ,  $K_{вз}$

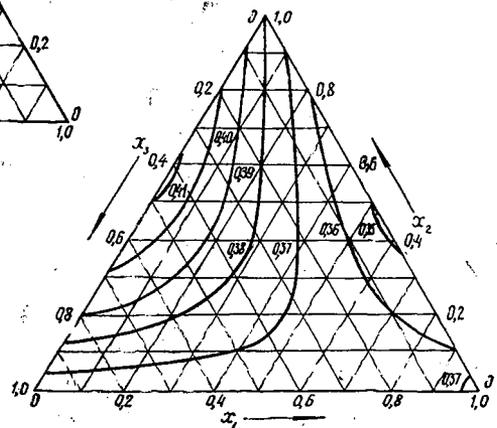


Рис. 1. Зависимость сред-  
ней поверхностной темпера-  
туры при трении пары  
НСФ-6 по чугуны СЧ 15-32  
от изменения параметров  
 $P$ ,  $v_{ск}$ ,  $K_{вз}$

тальными значениями для температуры  $t_k = 200$  °С. Так, из диаграм-  
мы 1 при  $t_k = 200$  °С ( $z_1 = 0$ ;  $z_2 = 1$ ;  $z_3 = 1$ ) по таблице имеем  
 $P_{уд} = 0,2$  МПа;  $v_{ск} = 6,25$  м/с;  $K_{вз} = 1$ . Отсюда

$$R = \alpha_{т.п} P_{уд} v_{ск} = 0,081 \cdot 0,2 \cdot 6,25 \cdot 9,8 \cdot 10^5 = 99225 \text{ Вт/м}^2.$$

Этот оценочный расчетный критерий хорошо совпадает с критери-  
ем  $R$ , рассчитанным по паспортным теплофизическим данным материа-  
ла.

Из диаграмм 1 и 2 следует также, что уменьшение температур-  
ного режима с 200 до 140...150 °С и стабилизация коэффициента тре-

ния  $\mu = 0,39 \dots 0,41$  при практически неизменном значении  $P_{уд}v_{ск}$  обеспечивается в основном за счет изменения  $K_{вз}$ . В данном случае оптимально  $K_{вз} = 0,65 \dots 0,8$ , что объясняется увеличением коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  и, следовательно, улучшением теплорассеивания фрикционного узла. Однако это не означает, что во всех случаях целесообразно уменьшать  $K_{вз}$ , так как для сохранения критерия мощности  $R$  постоянным в паре трения необходимо увеличивать  $P_{уд}$  (за счет уменьшения площади контакта), при этом существенно повышается средняя поверхностная температура  $t_k$ . Это видно из диграммы 1. Температурный же режим фрикционной пары трения тормозного узла в некоторых случаях ограничивает использование фрикционных материалов по их разрешающей теплостойкости.

Таким образом, наряду с  $\mu$  и  $P_{уд}v_{ск}$ , важнейшими характеристиками пары трения, влияющими на ее работоспособность и температурный режим, являются коэффициент теплоотдачи и теплофизические свойства материалов. Использование данного критериального уравнения (6) позволит конструкторам и проектировщикам при разработке новых конструкций сделать оптимальный выбор фрикционного материала, а также оценить конструктивное совершенство тормозного узла по его температурному режиму работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Нартов П. С., Попов В. М., Белокуров В. П. Расчет температурного поля фрикционных пар лесных машин при клеевом способе крепления фрикционных накладок // Машины и орудия для механизации лесозаготовок и лесного хозяйства: Межвуз. сб. науч. тр.—Л.: ЛТА.—1981.— Вып. 10.— С. 65—69. [2]. Чичинадзе А. В. Расчет и исследование внешнего трения при торможении.—М.: Наука, 1967.— 230 с.

Поступила 23 февраля 1988 г.

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.05.001.2

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУБГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ  
В СИСТЕМЕ КАРЕТКА — НАПРАВЛЯЮЩИЕ НА СТАДИИ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИНВ. В. АМАЛИЦКИЙ, В. Г. БОНДАРЬ, А. П. ЧУВАШЕВ,  
И. Я. НУЛЛЕР

Московский лесотехнический институт

В деревообработке можно выделить значительную группу станков, исполнительным органом которых является каретка или суппорт, совершающие прямолинейное возвратно-поступательное движение по направляющим на опорных катках. Применение направляющих качения перспективно для деревообрабатывающих машин, поскольку они могут обеспечить как быстрые, так и медленные равномерные перемещения рабочих органов на больших длинах хода с малыми энергетическими затратами и высокую точность установочных перемещений. Использование направляющих качения в машинах предъявляет повышенные требования к уровню их проектирования и изготовления. Создание качественных направляющих качения невозможно без целенаправленного исследования на моделях различных конструктивных вариантов с применением теории динамики, контактной прочности, износа и надежности. Рассматривая в данной работе один из аспектов динамики направляющих качения, следует отметить, что жесткость опорных катков, выполненных, как правило, на основе радиальных шарикоподшипников, сравнительно невелика (порядка 10 Н/мм); она существенно зависит от упругих перемещений, что характерно для контактных деформаций. В деревообрабатывающих станках часто имеют место значительные внешние возмущения, обусловленные силами инерции неуравновешенных, вращающихся с большой частотой масс. Инерциальные нагрузки вызывают в подвижных сопряжениях направляющих качения виброперемещения с амплитудами, составляющими десятки микрометров. В этих условиях линеаризация в оценке амплитуд колебаний, как это принято делать в расчетах, может привести к большим ошибкам. Кроме того, известно [1, 2], что вибрации в станках — источники интенсификации износа направляющих, а также режущего инструмента.

Погрешности в оценках амплитуд виброперемещений при создании оборудования могут привести к появлению станков с низкой эксплуатационной надежностью отдельных исполнительных механизмов и режущего инструмента. Особенно опасна, с точки зрения надежности, работа оборудования в зоне субгармонического резонанса.

Обычно при проектировании деревообрабатывающего оборудования отстройку упругой системы станка от резонанса ведут исходя из соотношения частоты вращения инструмента  $\omega_n$  и основной собственной частоты упругой системы  $\omega_0$ , определяемой линейными дифференциальными уравнениями движения. В линейных системах резонанс наступает только при соотношении  $\omega_0 = \omega_n$ .

В нелинейной системе может возникнуть субгармонический резонанс соотношений  $\omega_n = 2\omega_0$  [5], когда упругая система совершает колебания  $2\omega_0$  с амплитудами в 1,5—2 раза большими, чем при  $\omega_n = \omega_0$ .

Нами проведены исследования с целью разработки методики определения резонанса на стадии проектирования деревообрабатывающих станков с направляющими качения.

Явления субгармонического резонанса изучали на каретке одностороннего рамного шипорезного станка. Вибрации возбуждались с помощью нагрузочно имитирующего устройства, созданного на основе центробежного вибратора с регулируемой частотой вращения, который закрепляли на каретке [3].

На рис. 1 приведена схема каретки с установленным на ней центробежным вибратором  $B$  и индуктивными датчиками перемещений  $D_1$  и  $D_2$ .

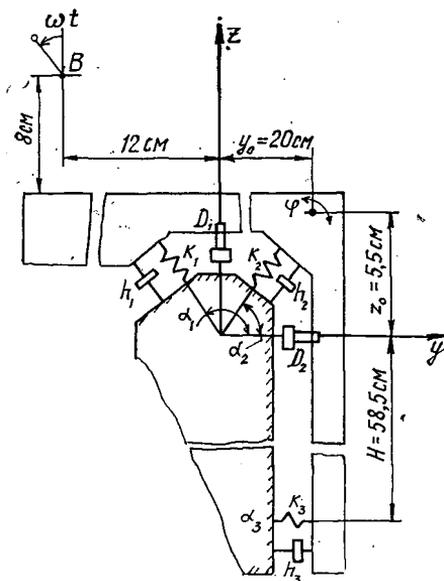


Рис. 1. Расчетная схема упругой системы каретка — направляющие

На стадии проектирования, когда еще нет опытного образца, невозможно проводить физические эксперименты. В этом случае исследование влияния нелинейности на характер колебаний упругой системы и выявление условий возникновения субгармонического резонанса проводят на модели.

Нами предложена методика, базирующаяся на аналоговом моделировании. Экспериментально определенная зависимость жесткости от перемещений аппроксимирована по методу наименьших квадратов кусочно-линейной зависимости типа «зона нечувствительности».

Систему дифференциальных уравнений вида (1)

$$m_i \ddot{q}_i + h_i \dot{q}_i + \sum_{j=1}^n h_{ij} (\dot{q}_i - \dot{q}_j) + \sum_{j=1}^n k_{ij}(q) q_i = f(t) \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

(где  $q$  — обобщенная координата;  $m, k, h$  — инерционные, упругие и диссипативные коэффициенты;  $n$  — число степеней свободы упругой системы;  $f(t)$  — возмущение, обычно гармоническое), приведенную к машинной форме, вводили в АВМ.

Коэффициенты системы, обусловленные конструкцией каретки, вычисляли по следующим формулам:

$$k_{yy} = k_1 \cos^2 \alpha_1 + k_2 \cos^2 \alpha_2 + k_3 \cos^2 \alpha_3;$$

$$k_{zz} = k_1 \sin^2 \alpha_1 + k_2 \sin^2 \alpha_2 + k_3 \sin^2 \alpha_3;$$

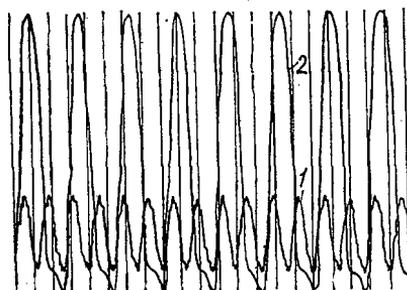


Рис. 2. Осциллограмма относительных колебаний каретки (отклик) 2 в режиме субгармонического резонанса (возмущение) 1

Из осциллограммы (рис. 2) видно, что частота возбуждения в 2 раза выше частоты вибраций каретки и амплитуда имеет характерную для субгармонического резонанса форму.

$$\begin{aligned}
 k_{\varphi\varphi} &= k_1 (y_0 \sin \alpha_1 - z_0 \cos \alpha_1)^2 + k_2 (y_0 \sin \alpha_2 - z_0 \cos \alpha_2)^2 + \\
 &\quad + k_3 [h - (y_0 \sin \alpha_3 - z_0 \cos \alpha_3)]^2; \\
 k_{yz} &= k_{zy} = 0,5 (k_1 \sin 2\alpha_1 + k_2 \sin 2\alpha_2 + k_3 \sin 2\alpha_3); \\
 k_{y\varphi} &= k_{\varphi y} = k_1 (z_0 \cos^2 \alpha_1 - 0,5 y_0 \sin 2\alpha_1) + k_2 (z_0 \cos^2 \alpha_2 - \\
 &\quad - 0,5 y_0 \sin 2\alpha_2) + k_3 \cos \alpha_3 [H - (y_0 \sin \alpha_3 - z_0 \cos \alpha_3)]; \\
 k_{z\varphi} &= k_{\varphi z} = k_1 (0,5 z_0 \sin 2\alpha_1 - y_0 \sin^2 \alpha_1) + k_2 (0,5 z_0 \sin 2\alpha_2 - \\
 &\quad - y_0 \sin^2 \alpha_2) + k_3 \sin \alpha_3 [H - (y_0 \sin \alpha_3 - z_0 \cos \alpha_3)]; \\
 h_{yy} &= \frac{\delta}{2\pi} \sqrt{mk_{yy}}; & h_{zz} &= \frac{\delta}{2\pi} \sqrt{mk_{zz}}; \\
 h_{\varphi\varphi} &= \frac{\delta}{2\pi} \sqrt{I_x k_{\varphi\varphi}}; & h_{ij} &= 0 \text{ при } i = j.
 \end{aligned}$$

Решение системы, которое при наличии нелинейностей особенно просто получают методом аналогового моделирования, определяет поведение каретки под воздействием заданных режимов обработки. В частности, при заданных конструктивных параметрах станка, входящих в коэффициенты уравнений, проверяется возможность попадания системы в зону обычного или субгармонического резонанса с возмущающей силой. При таком совпадении можно, оставаясь в рамках принципиального конструкторского решения, за счет изменения, например, углов  $\alpha_i$ , координат  $y_0, z_0$  и за счет перераспределения масс и т. п. эффективно отстроить систему от резонанса. Известно, что при достаточно большом значении логарифмического декремента колебаний  $\delta$  субгармонический резонанс исключается, а обычный резонанс характеризуется умеренным ростом амплитуд колебаний. Но увеличение  $\delta$  за счет введения специальных демпфирующих устройств крайне нежелательно. В этом случае резко возрастает сопротивление движению, износ направляющих, погрешности позиционирования. Поэтому такие методы применяют в исключительных случаях.

Моделирование дифференциальных уравнений с помощью диодной схемы [4] показано на рис. 3.

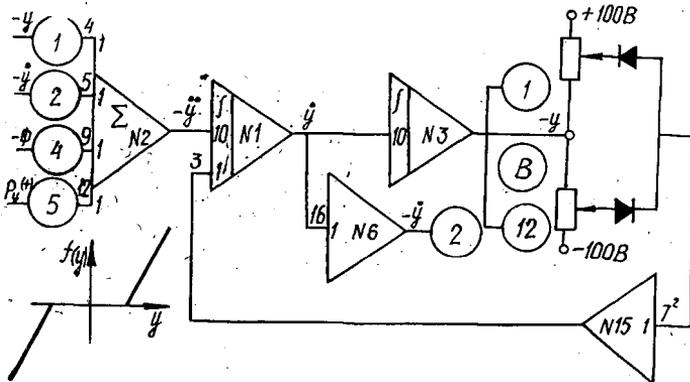
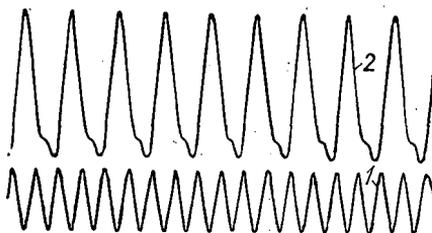


Рис. 3. Диодная схема моделирования упругой системы каретка — направляющие

Гармоническое воздействие создавалось генератором НГПК-3 м. Осциллограммы смоделированных субгармонических колебаний приведены на рис. 4.

Рис. 4. Осциллограмма относительных колебаний каретки в режиме субгармонического резонанса при моделировании системы каретка — направляющие на АВМ: 1 — возбужденные колебания генератора (возмущение); 2 — решение уравнения движения системы (отклик)



Сопоставление форм колебательного процесса, полученных в эксперименте и моделировании, показывает их идентичность.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Амалицкий В. В. Расчет долговечности технологического оборудования с учетом взаимосвязи динамических процессов и процессов изнашивания // Лесн. журн.— 1977.— № 3.— С. 115—118.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Амалицкий В. В. Взаимосвязь динамических процессов и процессов изнашивания в технологическом оборудовании // Надежность технологических комплексов в машиностроительном производстве: Материалы Всесоюз. конф.— М.: ВСНТО, 1979. [3]. А. с. 410278 СССР, М. Кл. G 01m 13/00. Способ имитации условий работы механизма подачи кареткой шипорезного станка в процессе резания / В. В. Амалицкий, И. Я. Нуллер, В. Г. Бондарь (СССР).— № 1751357; Заявлено 24.02.72; Оpubл. 05.01.74, Бюл. № 1 // Открытия. Изобретения.— 1974.— № 1.— С. 56. [4]. Левин Л. Методы решения технических задач с использованием аналоговых вычислительных машин.— М.: Мир, 1966. [5]. Хейл Дж. Колебания в нелинейных системах.— М.: Мир, 1966.

Поступила 30 сентября 1988 г.

УДК 674.21 : 694

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ВЫРАБОТКИ ЦЕЛЫХ И КЛЕЕНЫХ ЗАГОТОВОК В ДЕРЕВЯННОМ ДОМОСТРОЕНИИ

А. А. ПИЖУРИН, В. Е. ПЯТКОВ

Московский лесотехнический институт

Важными резервами рационального использования древесины хвойных пород в процессе изготовления деревянных малоэтажных домов являются выбор эффективных технологий изготовления заготовок для конкретных условий производства; использование оптимальных планов раскроя сырья, составленных с применением ЭВМ; включение в производство заготовок из лиственных пород древесины.

Наиболее эффективный путь решения проблемы рационального использования пиломатериалов из древесины хвойных пород — определение соотношения целых и клееных заготовок.

Склеивание короткомерных и неспецификационных пиломатериалов по длине и сечению позволяет домостроительным предприятиям и цехам уменьшить потребность в пиломатериалах больших сечений.

При выработке целых заготовок эксплуатационные затраты и капитальные вложения меньше, чем при выпуске клееных. В первом случае расход пиломатериалов существенно увеличивается; во втором выход спецификационных заготовок из пиломатериалов значительно больше, но при этом возрастают затраты по переработке 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов. В ряде случаев эффективна смешанная технология, т. е. одновременное производство целых и клееных заготовок, вырабатываемых из отрезков пиломатериалов, образующихся при раскрое на целые заготовки.

Очевидно, для конкретных условий производства необходимо находить оптимальное соотношение целых и клееных заготовок, обеспечивающее наибольший экономический эффект. Такую задачу можно решить с применением методов математического программирования.

Приведем оптимизационную математическую модель определения оптимального соотношения целых и клееных заготовок для малоэтажного деревянного домостроения.

В качестве критерия оптимальности возьмем приведенные затраты, которые позволяют оценить эффективность производства продукции по различным вариантам технологии изготовления и выбрать наиболее экономичный. Этот критерий удобен с математической точки зрения, поскольку позволяет разработать достаточно простой алгоритм его реализации.

Применительно к нашей задаче приведенные затраты можно определить следующим образом. Себестоимость процесса выпуска заготовок складывается из стоимости сырых пиломатериалов  $C_n$ ; затрат на сушку  $C_{\text{суш}}$ , на сортировку по размеру и качеству  $C_c$ , на раскрой (включая склеивание, если оно предусмотрено выбранной технологией) пиломатериалов  $C_p$  и на складирование заготовок  $C_x$ , т. е.

$$C = C_n + C_{\text{суш}} + C_c + C_p + C_x. \quad (1)$$

Аналогично капитальные затраты, связанные с производством заготовок,

$$K = K_{\text{суш}} + K_c + K_p + K_x, \quad (2)$$

где  $K_{\text{суш}}$ ,  $K_c$ ,  $K_p$  и  $K_x$  — капитальные затраты соответственно на сушку сырых пиломатериалов, сортировку, переработку пиломатериалов на заготовки и хранение готовых заготовок.

Каждой из технологий выпуска заготовок присвоим индекс  $j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) и условимся, что индекс  $j = 1$  соответствует выпуску только целых заготовок, индекс  $j = 2$  — только клееных заготовок и индекс  $j = 3$  — заготовок по смешанной технологии.

Введем булеву переменную  $y_j$ , которая принимает значение  $y_j = 1$ , если в окончательном варианте используем  $j$ -ю технологию выпуска заготовок, и  $y_j = 0$  в противном случае ( $y_j = \overline{1, 0}$ ). Целевую функцию математической модели можно записать в следующем виде:

$$\sum_{j=1}^m y_j (C_j + Ek_j) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Рассмотрим отдельно каждое из слагаемых (1) и (3). Обозначим через  $x_{ij}^q$  число пиломатериалов  $i$ -го вида, м<sup>3</sup>, которые перерабатывают по  $j$ -й технологии с целью получения  $q$ -го сорта заготовок. Стоимость сырых пиломатериалов  $C_n$  можно определить по формуле:

$$C_n = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q C_{1i} x_{ij}^q. \quad (4)$$

Здесь  $C_{1i}$  — стоимость 1 м<sup>3</sup> сырых пиломатериалов  $i$ -го вида. Условно-переменные затраты на сушку пиломатериалов

$$C_{\text{суш}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q C_{1\text{суш}} x_{ij}^q, \quad (5)$$

где  $C_{1\text{суш}}$  — условно-переменные затраты на сушку 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов.

Известно, что отсутствие сортировки пиломатериалов по качеству и размерам приводит к падению выхода заготовок или завышению их качества. С другой стороны, сортировка пиломатериалов требует определенных затрат, которые зависят в основном от ее дробности. Обозначим через  $C_1(M)$  условно-переменные затраты по сортировке на  $M$  групп  $1 \text{ м}^3$  пиломатериалов, тогда общие условно-переменные затраты на сортировку можно определить по формуле:

$$C_c = C_1(M) \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q x_{ij}^q. \quad (6)$$

Затраты на раскрой пиломатериалов (включая склеивание по длине на зубчатый шип, если оно предусмотрено выбранной технологией) определяем следующим образом. Пусть  $C_{ip}^q$  — условно-переменные затраты, связанные с переработкой  $1 \text{ м}^3$  пиломатериалов  $i$ -го вида по  $j$ -й технологии на заготовки  $q$ -го типа. Общие условно-переменные затраты по раскрою пиломатериалов

$$C_p = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q C_{ip}^q x_{ij}^q. \quad (7)$$

Рассмотрим слагаемое  $C_x$  выражения (1), характеризующее затраты на хранение и складирование заготовок. Необходимость хранения и складирования заготовок перед сборкой панелей вызвана тем, что пиломатериалы, поступающие из лесопильного цеха, не всегда можно использовать для изготовления нужных в данный момент заготовок или же выбор таких заготовок сопряжен с большими потерями. Это положение сохраняет свою силу и в том случае, когда состав пиломатериалов, поступающих из лесопильного цеха, регулируется с учетом календарного графика сборки домов.

Слагаемое  $C_x$  войдет в целевую функцию следующим образом:

$$C_x = C_{1x} \left[ V_{1x} + (t - 1) \left( V_{1x} - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q K_{i2}^q x_{i2}^q}{N} \right) \right] + C_{\text{пер}}(t), \quad (8)$$

где  $C_{1x}$  — условно-переменные затраты на складирование  $1 \text{ м}^3$  заготовок;

$V_{1x}$  — минимальный объем склада заготовок, равный средней сменной производительности участка сборки;

$N$  — число рабочих смен в году;

$K_{i2}^q$  — выход клееных заготовок  $q$ -го типоразмера из сырья  $i$ -го вида;

$t$  — число смен работы сборочного цеха при использовании заготовок одинакового типоразмера;

$C_{\text{пер}}(t)$  — затраты на переналадку оборудования на участке сборки.

В формуле (8) выражение, стоящее в квадратных скобках, определяет объем склада заготовок при одновременном производстве целых и клееных заготовок. Разность  $V_{1x} - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q K_{i2}^q x_{i2}^q}{N}$  соответствует разности между сменной производительностью участка сборки и всех линий, выпускающих клееные заготовки.

Условно-постоянные и капитальные затраты по  $j$ -й технологии обозначим соответственно через  $C'_j$  и  $K_j$ . Выражение для целевой функции задачи по критерию приведенных затрат (ПЗ) имеет вид

$$\begin{aligned}
 \text{ПЗ} = & \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q C_{1i} x_{ij}^q + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q C_{1\text{сущ}} x_{ij}^q + \\
 & + C_1(M) \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q x_{ij}^q + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q C_{1p\ ij}^q x_{ij}^q + \\
 & + C_{1x} \left[ V_{1x} + (t-1) \left( V_{1x} - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^Q K_{i2}^q x_{i2}^q}{N} \right) \right] + C_{\text{пер}}(t) + \\
 & + \sum_{j=1}^m y_j (C'_j + EK_j) \rightarrow \min.
 \end{aligned} \tag{9}$$

### Ограничения модели

1. По объему раскраиваемых пиломатериалов

$$\sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^Q x_{ij}^q \leq V_i, \quad i = \overline{1, Q}, \tag{10}$$

где  $V_i$  — объем пиломатериалов  $i$ -го вида по спецификации.

Это ограничение необходимо для того, чтобы объем перерабатываемых пиломатериалов каждого  $i$ -го вида был не более, чем заданный по спецификации.

2. По объему вырабатываемых заготовок

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n K_{ij}^q x_{ij}^q = V^q, \quad q = \overline{1, Q}. \tag{11}$$

Здесь  $V^q$  — объем заготовок  $q$ -го вида по спецификации.

Ограничение (11) гарантирует выполнение спецификационного плана по каждому типоразмеру заготовок.

3. По числу потоков

$$\sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^Q \frac{x_{ij}^q}{\Pi_{ij}^q} \leq \rho_j, \quad j = \overline{1, m}, \tag{12}$$

где  $\Pi_{ij}^q$  — годовая производительность потока, реализующего  $j$ -ю технологию при раскрое  $i$ -го вида пиломатериалов на заготовку  $q$ -го типоразмера;

$\rho_j$  — максимальное число потоков, реализующих  $j$ -ю технологию раскроя.

Ограничение (12) необходимо для того, чтобы число потоков, реализующих  $j$ -ю технологию, было бы не более заданного. Если же на число потоков не накладывают никаких условий, то ограничение (12) можно не включать в модель. Фактическое число  $\gamma_j$  потоков, необходимых для реализации оптимального решения:

$$\gamma_j = \begin{cases} \alpha_j, & \text{если } \alpha_j \text{ — целое число;} \\ [\alpha_j] + 1, & \text{если } \alpha_j \text{ — дробное число.} \end{cases} \tag{13}$$

Здесь  $\alpha_j$  — левая часть ограничения (12).

Символ  $[ \ ]$ , стоящий в выражении (13), означает, что необходимо найти целую часть числа  $\alpha_j$ . Если  $\alpha_j$  — целое число, то все потоки, реализующие  $j$ -ю технологию, загружены полностью. В противном случае имеет место недогрузка одного из потоков.

Зная величину  $\gamma_j$ , можно определить условно-постоянные затраты и капитальные вложения по каждой технологии:

$$C'_j = C'_{1j} \gamma_j; \quad (14)$$

$$K'_j = K_{1j} \gamma_j, \quad (15)$$

где  $C_{1j}$ ,  $K_{1j}$  — условно-постоянные затраты и капитальные вложения соответственно по одному потоку, реализующему  $j$ -ю технологию.

4. Рабочее ограничение вида

$$x_{ij}^q \geq 0; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad q = \overline{1, Q}. \quad (16)$$

5. Рабочее ограничение вида

$$x_{ij}^q = 0, \quad \text{если } y_j = 0. \quad (17)$$

6. По максимальному объему капитальных вложений  $K_{max}$

$$\sum_{j=1}^m K_j y_j \leq K_{max}. \quad (18)$$

7. По площади участка раскроя

$$\sum_{j=1}^m S_j y_j \leq S_{max}, \quad (19)$$

где  $S_j$  — площадь, необходимая для оборудования по реализации  $j$ -й технологии раскроя;

$S_{max}$  — максимальная площадь участка раскроя.

Ограничения по другим технико-экономическим показателям можно записать аналогичным образом.

Итак, построенная математическая модель задачи определения оптимального соотношения целых и клееных заготовок представляет собой частично-целочисленную задачу математического программирования. Для ее реализации получены численные значения коэффициентов выхода заготовок и других коэффициентов целевой функции и ограничений.

Поступила 1 февраля 1988 г.

УДК 674.09-791.8.001.57

## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ МЕХАНИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДРЕВЕСИНЫ

В. В. ОГУРЦОВ

Сибирский технологический институт

Математическое моделирование различных свойств древесины часто базируют на корреляционном анализе. Представляет интерес влияние погрешностей измерения параметров древесины (условно обозначим их через  $X$  и  $Y$ ) на коэффициент корреляции  $r_{XY}$  между ними.

Выражение для  $r_{XY}$  запишем через смешанный центральный момент второго порядка [2]

$$r_{XY} = \frac{K_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}, \quad (1)$$

где  $\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$  — среднеквадратические отклонения параметров  $X$ ,  $Y$ ;  
 $K_{XY}$  — корреляционный момент случайных величин

$$K_{XY} = M((X - M_X)(Y - M_Y)). \quad (2)$$

Здесь  $M$  — математическое ожидание произведения централизованных величин  $X, Y$ ;  
 $M_X, M_Y$  — математические ожидания величин  $X, Y$ .

Переходим от расчетных значений, содержащих случайные ошибки измерения  $\Delta X, \Delta Y$  к действительным  $X_d, Y_d$ ;

$$K_{XY} = M(((X_d + \Delta X) - M_X)((Y_d + \Delta Y) - M_Y)). \quad (3)$$

Преобразовываем уравнение (3) с учетом того, что математическое ожидание суммы случайных величин равно сумме их математических ожиданий:

$$K_{XY} = K_{X_d Y_d} + K_{\Delta X \Delta Y} + K_{Y_d \Delta X} + K_{\Delta X \Delta Y}^c, \quad (4)$$

где  $K_{X_d Y_d}$  — корреляционный момент случайных величин  $X_d, Y_d$ ;  
 $K_{\Delta X \Delta Y}^c$  — корреляционный момент взаимосвязанных ошибок измерения  $X, Y$ .

Корреляционные моменты  $K_{\Delta X \Delta Y}$  и  $K_{Y_d \Delta X}$  равны нулю, так как соответствующие им пары  $X - \Delta Y$  и  $Y - \Delta X$  являются не связанными случайными величинами. Тогда

$$K_{XY} = K_{X_d Y_d} + K_{\Delta X \Delta Y}^c. \quad (5)$$

Выразим:  $\sigma_X = \sqrt{\sigma_{X_d}^2 + \sigma_{\text{ош}X}^2}; \quad (6)$

$$\sigma_Y = \sqrt{\sigma_{Y_d}^2 + \sigma_{\text{ош}Y}^2}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{X_d}, \sigma_{Y_d}$  — среднеквадратические отклонения  $X_d, Y_d$ ;  
 $\sigma_{\text{ош}X}, \sigma_{\text{ош}Y}$  — среднеквадратические ошибки измерения  $X, Y$ .

Тогда

$$r_{XY} \sqrt{(\sigma_{X_d}^2 + \sigma_{\text{ош}X}^2)(\sigma_{Y_d}^2 + \sigma_{\text{ош}Y}^2)} = K_{X_d Y_d} + K_{\Delta X \Delta Y}^c. \quad (8)$$

Разделим левую и правую части на  $\sigma_{X_d} \sigma_{Y_d}$

$$r_{XY} \sqrt{1 + \frac{\sigma_{\text{ош}X}^2}{\sigma_{X_d}^2} + \frac{\sigma_{\text{ош}Y}^2}{\sigma_{Y_d}^2} + \frac{\sigma_{\text{ош}X}^2 \sigma_{\text{ош}Y}^2}{\sigma_{X_d}^2 \sigma_{Y_d}^2}} = r_{X_d Y_d} + \frac{K_{\Delta X \Delta Y}^c}{\sigma_{X_d} \sigma_{Y_d}}. \quad (9)$$

Здесь  $r_{X_d Y_d}$  — коэффициент корреляции между  $X_d, Y_d$ .

Последний член под корнем выражения (9) на порядок меньше остальных, поэтому его можно отбросить. После алгебраических преобразований имеем

$$r_{X_d Y_d} = r_{XY} \sqrt{1 + \frac{\sigma_{\text{ош}X}^2}{\sigma_X^2 - \sigma_{\text{ош}X}^2} + \frac{\sigma_{\text{ош}Y}^2}{\sigma_Y^2 - \sigma_{\text{ош}Y}^2}} - r_{\text{ош}XY}^c \frac{\sigma_{\text{ош}X}^c \sigma_{\text{ош}Y}^c}{\sqrt{(\sigma_X^2 - \sigma_{\text{ош}X}^2)(\sigma_Y^2 - \sigma_{\text{ош}Y}^2)}}, \quad (10)$$

где  $r_{\text{ош}XY}^c = \frac{K_{\Delta X \Delta Y}^c}{\sigma_{\text{ош}X}^c \sigma_{\text{ош}Y}^c}$  — коэффициент корреляции между ошибками измерения  $X, Y$ ;  
 $\sigma_{\text{ош}X}^c, \sigma_{\text{ош}Y}^c$  — взаимосвязанные среднеквадратические ошибки измерения  $X, Y$ .

Из выражения (10) видно, что ошибки измерения  $X, Y$  влияют на коэффициент корреляции по двум направлениям. Во-первых, взаимо-

связанные ошибки  $\sigma_{\text{ош}X}^c$ ,  $\sigma_{\text{ош}Y}^c$  увеличивают согласованное варьирование  $X$ ,  $Y$  около своих математических ожиданий и, как следствие, завышают коэффициент корреляции. Во-вторых, общие ошибки  $\sigma_{\text{ош}X}$ ,  $\sigma_{\text{ош}Y}$ , увеличивая  $\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$  и не оказывая влияния на  $K_{XY}$ , занижают коэффициент корреляции. Первая погрешность имеет знак «+» и определяется вторым членом правой части выражения (10). Вторая погрешность имеет знак «-» и определяется первым членом под корнем правой части выражения (10). В зависимости от соотношения связанных и несвязанных погрешностей измерения  $X$ ,  $Y$ , а также значений  $r_{XY}$ ,  $r_{\text{ош}XY}^c$  погрешность определения коэффициента корреляции может иметь как положительный, так и отрицательный знак.

Используя выражение (10), исследуем влияние ошибок измерения модуля упругости  $E$  и предела прочности  $\sigma$  древесины пиломатериалов (при изгибе) на коэффициент корреляции  $r_{E\sigma}$  между ними.

Определим среднеквадратические ошибки измерения  $E$  и  $\sigma$  при допустимых по ГОСТ 21554.1-81 и 21554.2-81 погрешностях измерения параметров пиломатериалов, используя известные формулы для  $E$  и  $\sigma$ , а также выражение для ошибки косвенных измерений [1]:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ош}E} &= 0,03 \dots 0,05 \text{ ГПа}; & \sigma_{\text{ош}\sigma} &= 0,1 \dots 0,2 \text{ МПа}; \\ \sigma_{\text{ош}E}^c &= 0,02 \dots 0,03 \text{ ГПа}; & \sigma_{\text{ош}\sigma}^c &= 0,05 \dots 0,1 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Подставляя наибольшие из этих погрешностей в выражение (10), найдем:

$$r_{E\sigma} = 1,0009r_{E\sigma} - 0,00025.$$

Следовательно, допускаемые ГОСТ погрешности измерения при определении  $E$  и  $\sigma$  снижают коэффициент корреляции всего на 0,0003 ... 0,0006 (на 0,05 ... 0,07 %).

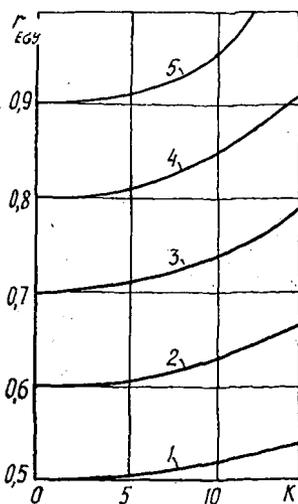


Рис. 1. Кривая 1 —  $r_{E\sigma} = 0,5$ ; 2 — 0,6; 3 — 0,7; 4 — 0,8; 5 — 0,9

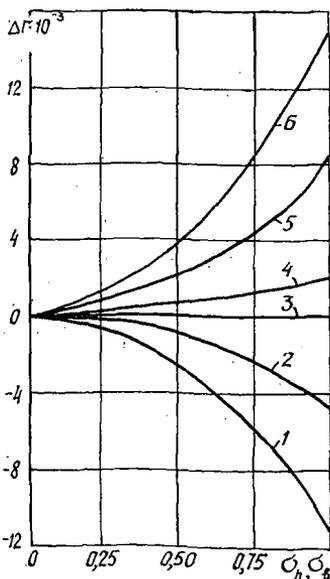


Рис. 2. Кривая 1 —  $r_{E\sigma} = 0,50$ ; 2 — 0,60; 3 — 0,67; 4 — 0,70; 5 — 0,80; 6 — 0,90

На рис. 1 представлена зависимость снижения коэффициента корреляции  $r_{E\sigma}$  от кратности  $K$  увеличения погрешностей измерения  $E$  и  $\sigma$ , допускаемых ГОСТ 21554.1—81, 21554.2—81. Из графиков видно, что если измерения производить с погрешностями, в 5 раз превышающими допускаемые стандартами, то занижение коэффициента корреляции составляет от 0,005 до 0,013 (на 1...1,5 %), а если в 10 раз, то — от 0,01 до 0,04 (на 3...6 %).

Интерес представляет влияние неравномерного повышения погрешностей на точность определения коэффициента корреляции, поскольку аппаратные погрешности, как правило, не меняются от опыта к опыту, а обусловленные варьированием параметров пиломатериалов могут меняться в зависимости от методики исследования.

На рис. 2 представлена зависимость поправки  $\Delta r$  к коэффициенту корреляции в связи с варьированием толщины  $\sigma_h$  и ширины  $\sigma_b$  пиломатериалов при погрешностях измерения остальных параметров, соответствующих указанным выше стандартам.

Из рис. 2 видно, что ошибки определения коэффициентов корреляции  $r_{E\sigma}$  зависят от значений этих коэффициентов, а также от величин варьирования толщины и ширины пиломатериалов. От  $r_{E\sigma}$  зависит не только модуль ошибки, но и ее знак: при  $r_{E\sigma} > 0,67$  ошибки имеют знак «—», при  $r_{E\sigma} < 0,67$  — знак «+» (поправки имеют обратные знаки). Абсолютные значения ошибок определения коэффициентов корреляции не превышают 0,015. Значение  $r_{E\sigma}$ , при котором происходит полная компенсация положительных и отрицательных компонентов ошибок, зависит от несвязанных погрешностей при определении  $E$  и  $\sigma$ .

Варьирование влажности пиломатериалов в пределах от 13 до 25 % увеличивает максимальную ошибку определения коэффициента корреляции до 0,02.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, коэффициент корреляции между  $E$  и  $\sigma$  слабо чувствителен к варьированию толщины, ширины и влажности пиломатериалов, поэтому при его определении можно оперировать со средними значениями этих параметров; во-вторых, требования существующих стандартов чрезмерно жесткие для исследования взаимосвязей между модулем упругости и пределом прочности древесины пиломатериалов, их соблюдение не гарантирует получение устойчивых, достаточно высоких коэффициентов корреляции; в-третьих, низкие коэффициенты корреляции нельзя объяснить только низкой точностью измерений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Зайдель А. Н. Ошибки измерений физических величин.— Л.: Наука, 1974.—108 с. [2]. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений.— М.: Наука, 1971.—576 с.

Поступила 11 февраля 1988 г.

УДК 630\*812

## КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ ДУГЛАСИИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

О. И. ПОЛУБОЯРИНОВ, Н. О. КРЕПАК

Ленинградская лесотехническая академия

Дугласия *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) France относится к древесным породам, успешно интродуцированным в СССР. Общая площадь культур дугласии в нашей стране, по ориентировочным данным,

составляет 3,5 тыс. га. Основные посадки созданы на Украине, в Прибалтике и Белоруссии. К настоящему времени достаточно подробно изучены биоэкологические особенности дугласии, разработаны рекомендации по ее селекции и культуре [4, 10, 14]. В значительно меньшей степени в СССР исследовано качество ее древесины [1—3, 9], что затрудняет окончательное решение вопроса о целесообразности промышленного выращивания этой породы в условиях нашей страны.

Известно [11], что в ряде стран Зап. Европы, где запасы древесины дугласии уже составляют миллионы кубометров, ее промышленное потребление затруднено вследствие повышенной (за счет крупных сучков) сучковатости, пороков формы ствола, высокой смолистости. Цель настоящей работы — получить данные о свойствах древесины дугласии, которые можно использовать при разработке рекомендаций по выращиванию культур дугласии целевого назначения и для создания технологии переработки ее древесины в конечный продукт.

Материалом для исследования послужили образцы древесины в виде кернов, извлеченных возрастным буровом из 118 стоящих деревьев, и образцы массивной древесины (шайбы, кряжи), заготовленные из шести срубленных модельных деревьев.

Таксационные характеристики пробных площадей представлены в табл. 1\*.

Таблица 1

Но- мер проб- ной пло- щади	Воз- раст древос- тая, лет	Сред- няя высота, м	Сред- ний диа- метр, см	Пол- но- та	Класс бони- тета	Запас дре- весины, м <sup>3</sup> /га	Местонахождение
1	80	38,0	48	0,8	16	700	Перечинский лесоком- бинат, Закарпатская обл.
2	80	46,0	52	0,7	16	1 010	
3	75	40,0	52	0,5	16	660	
4	35	22,0	24	0,9	16	520	
5	60	22,5	25	0,8	1	499	
							Скриверская дача, ЛатНИИЛХП, ЛатвССР

Для проведения древесиноведческих исследований использовали методику, изложенную в работе [6] и действующих стандартах. Модельные деревья раскряжевывали на 10 равных по длине секций, по каждой из которых определяли показатели макроструктуры и плотности древесины. Высверленные на высоте 1,3 м керны разделяли на части, содержащие 5 или 10 годичных слоев, по которым также находили плотность древесины. Предел гигроскопичности древесины определяли по специальной методике [7]. Химический состав древесины устанавливали в лаборатории кафедры целлюлозно-бумажного производства ЛТА.

Основное внимание было уделено исследованию плотности древесины — свойству, определяющему как весовую продуктивность древостоев, так и основные технические характеристики древесного сырья.

В лабораторных условиях с помощью метода измерения выталкивающей силы образца [5] сначала определяли базисную (условную) плотность древесины  $\rho_6$ . Затем по значению полного объемного разбухания древесины  $\alpha_{max}$  рассчитывали ее плотность в абс. сухом состоянии  $\rho_0$  по соотношению  $\rho_0 = \rho_6(100 + \alpha_{max})/100$  и при влажности 12 % по формуле  $\rho_{12} = \rho_0/0,823$ . Среднюю плотность древесины вычисляли по плотности древесины на высоте 1,3 м с помощью полученного нами уравнения регрессии.

Результаты исследований представлены в табл. 2—5 и на рис. 1, 2.

\* Авторы статьи выражают благодарность проф. Д. М. Пирагсу и канд. с.-х. наук Н. Ю. Бигуну за содействие в проведении исследований.

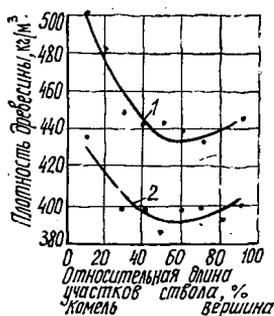


Рис. 1. Изменение базисной плотности древесины в продольном направлении ствола: 1, 2 — номера модельных деревьев

Картина распределения плотности древесины в стволах дугласии (см. рис. 1 и табл. 3) соответствует типу распределения, характерному для сосны. В отличие от сосны у дугласии падение плотности в наружных слоях древесины начинается в более раннем возрасте. Установлена тесная связь плотности древесины на высоте 1,3 м со средней плотностью древесины ствола. Связь выражается уравнением:

$$\rho_{cp} = 0,61\rho_{1,3} + 139 \quad (r = 0,93).$$

По показателям изменчивости плотности древесины внутри отдельных стволов ( $V = 12,5 \dots 18,0 \%$ ) и насаждений ( $V = 4,88 \dots 8,31 \%$ ) дугласии существенно не отличается от других хвойных пород.

Таблица 2

Номер пробной площадки	Число исследованных деревьев	Средняя базисная плотность древесины на высоте 1,3 м, кг/м <sup>3</sup>	Пределы изменчивости	Коэффициент вариации, %	Средняя плотность древесины ствола, кг/м <sup>3</sup>		
					$\rho_6$	$\rho_0$	$\rho_{12}$
1	20	461	418 ... 498	4,89	420	476	510
2	20	514	472 ... 565	4,88	453	514	550
3	25	468	422 ... 533	6,28	424	481	515
4	25	438	348 ... 487	8,31	406	460	493
5	26	478	410 ... 560	8,16	431	489	524

Исследование связи ширины годовичных слоев и плотности древесины позволило установить довольно тесную отрицательную корреляцию между этими показателями, определенными по частям кернов. Однако связь между диаметром и средней плотностью древесины деревьев внутри древостоев (см. рис. 2, а) оказалась очень слабой ( $r = -0,1 \dots -0,3$ ). На эту особенность дугласии указывают и авторы работы [2]. По материалам наших исследований, в древостоях дугласии имеется достаточно тесная связь между плотностью древесины деревьев и средней шириной годовичных слоев, измеренной на высоте 1,3 м

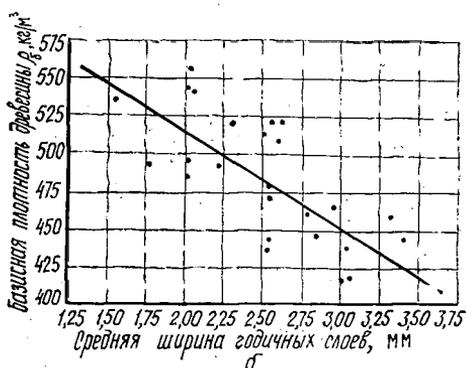
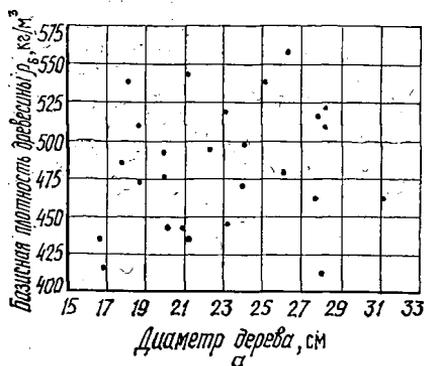


Рис. 2. Связь базисной плотности древесины с диаметром дерева (а) и со средней шириной годовичных слоев (б) на высоте 1,3 м ( $y = 610x - 41,5$ ;  $r = 0,67$ ); пробная площадь № 5

(см. рис. 2, б), что позволяет производить отбор деревьев внутри насаждений на плотность древесины по признакам ее макроструктуры.

Таблица 3

Изменение плотности древесины в поперечном направлении ствола (на высоте 1,3 м)

Номер пробной площадки	Плотность древесины, кг/м <sup>3</sup> , по частям кернов							Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
	Заболонь		Ядро					
1	473	493	484	466	439	420	403	461
2	492	520	542	538	507	465	429	514
3	474	479	493	481	458	438	430	468
4	442	407	435	432	413	400	—	438
5	459	500	475	416	423	—	—	478

Какая особенность макроструктуры древесины дугласии, следует отметить необычайно высокое содержание поздней древесины (от 40 до 50 %); при этом привычное для древесины других хвойных пород правило, что с увеличением ширины годичных слоев содержание поздней древесины уменьшается, для дугласии часто нарушается. Этим, по-видимому, и можно объяснить неудачи в попытках установить на дугласии связь скорости роста с качеством древесины [2].

Полученные в данной работе абсолютные значения плотности древесины исследованных культур на Украине и в Прибалтике соответствуют величинам, принятым для дугласии в Зап. Европе [12, 13, 15—17] и Сев. Америке [8].

Таблица 4

Номер партии древесины	Число исследованных образцов	Параметры уравнения $W = a\alpha + b$			Предел гигроскопичности, %	Полное объемное разбухание $\alpha_{m \cdot x}^{\%}$	Кэф-фициент объемного разбухания $K_{\alpha}$	Полная объемная усушка $\beta_{m \cdot x}^{\%}$	Кэф-фициент объемной усушки $K_{\beta}$
		a	b	r					
1	10	1,85	0,54	0,99	28,53	15,13	0,530	13,14	0,461
2	10	1,78	0,53	0,99	28,26	15,58	0,551	13,48	0,477
3	10	2,78	0,06	0,98	26,86	9,64	0,359	8,79	0,327
4	10	1,96	1,00	0,99	26,77	13,15	0,491	11,62	0,434
1—4	40	2,04	0,41	0,99	27,68	13,37	0,483	11,79	0,426

При исследовании влажностных свойств древесины дугласии установлена тесная линейная связь между ее разбуханием и влагопоглощением (см. табл. 4). На основании этой зависимости определены пределы гигроскопичности для четырех партий образцов, характеризующихся разной плотностью древесины, а затем рассчитаны коэффициенты усушки и разбухания. Следует отметить, что низкой плотности древесины в третьей партии ( $\rho_0 = 438 \text{ кг/м}^3$  против  $\rho_0 = 523 \text{ кг/м}^3$  в среднем для других партий) соответствуют столь же низкие показатели усушки и разбухания.

По данным о разбухании и усушке, древесину отечественной дугласии можно характеризовать как материал со средней и слабой формируемостью.

В сочетании с достаточно высокими прочностными характеристиками (см. табл. 5) эти свойства обеспечивают широкие возможности использования древесины дугласии прежде всего как конструкцион-

Таблица 5

Механические свойства древесины дугласии  
в Закарпатской области (при  $W = 12\%$ )

Показатель	Число иссле- дован- ных образ- цов	$\bar{X}$	$\sigma$	V, %	P, %
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	21	52,8	2,87	5,44	1,19
Твердость торцовая, Н/мм <sup>2</sup>	20	44,3	3,50	7,90	1,76

ного материала. Благоприятный химический состав (по нашим определениям содержание целлюлозы составило 58,6 %, лигнина — 28,0 %) позволяет охарактеризовать древесину дугласии как сырье, вполне подходящее для производства целлюлозы (по сульфатному методу)\*.

Специфические особенности физико-механических свойств древесины дугласии необходимо учитывать при ее механической переработке и использовании. Ввиду повышенной твердости распиловку дугласии следует производить по возможности вскоре после рубки, т. е. во влажном состоянии, применяя пониженные подачи; при обработке сухой древесины надо использовать только остро наточенный инструмент. Во избежание раскола древесины при скреплении деталей гвоздями и шурупами необходимо предварительное сверление [11, 12].

На американском рынке, так же как и в международной торговле, делают различие между широкослойной (с пониженным качеством) древесиной дугласии и с узкими годичными слоями. Наилучшей считается древесина с годичными слоями шириной 1...2 мм [17].

Учитывая требования современной лесоперерабатывающей промышленности, не следует выращивать дугласию в режиме максимальной скорости роста. Для получения высококачественной древесины дугласии необходимо применять обрезку сучьев, поскольку их естественное отмирание и опадение происходит в замедленном темпе.

Проведенное исследование подтверждает целесообразность выращивания дугласии в отечественных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бродович Т. М., Цыбык Б. И. Физико-механические свойства древесины псевдотсуги зеленой // Лесн. журн.—1969.—№ 2.—С. 74—76.—(Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Веверис А. Л., Пирагс Д. М. Исследования свойств древесины дугласии // Лесоведение.—1982.—№ 5.—С. 72—75. [3]. Олейник И. Я., Шляхта Я. М. Особенности формирования быстрорастущих хвойных экзотов // Современные проблемы лесоведения: Тез. докл. Всесоюз. конф.—Красноярск, 1987.—С. 85—87. [4]. Пирагс Д. М. Дугласия в Латвийской ССР.—Рига: Зинатне, 1979. [5]. Полубояринов О. И. Плотность древесины.—М.: Лесн. пром-сть, 1976. [6]. Полубояринов О. И. Оценка качества древесины в насаждении.—Л.: РИО ЛТА, 1981. [7]. Полубояринов О. И. Предел гигроскопичности древесины основных древесных пород СССР по районам произрастания // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА.—Л., 1984.—С. 95—98. [8]. Справочное руководство по древесине / Лаб. лесных продуктов США.—М.: Лесн. пром-сть, 1979. [9]. Федоров Е. А. Об интродукции псевдотсуги в Калининградской области // Лесн. хоз-во.—1981.—№ 1.—С. 34—35. [10]. Щепотьев Ф. Л. Дугласия.—М.: Лесн. пром-сть, 1982. [11]. Behler H. Über die Zukunft der Douglasie aus forstwirtschaftlicher und holzwirtschaftlicher Sicht // Allg. Forstzeitschrift.—1980.—N 9.—S. 222—224. [12]. Botcher P., Wiese G. Aufkommen, Eigenschaften und Verwendung von Douglasienholz in Niedersachsen // Holzzucht.—1985.—

\* Для условий ФРГ, по данным авторов [12], содержание целлюлозы в древесине дугласии колеблется в пределах от 54,1 до 59,9 %.

N 3/4.— S. 17—22. [13]. Göhre K. Die Douglasie und ihr Holz.— Berlin: Akademie — Verlag, 1958. [14]. Harkai L. A. Zalaerdodi fenyohalozati kiserletek ertekelese // Erdeszeti Kutatasok.— 1981.— N 74.— S. 89—96. [15]. Pollay N. Satorhegysegi douglas—fenyo muszaki tulajdonsagai // Erdomirnoki Foiskola kozlemenyei.— 1956.— N 2.— S. 53—72. [16]. Rathke K-H. Problem—Holzart Douglasie // Holz-Zentralbl.— 1980.— N 106.— S. 384. [17]. Wagenfuhr R., Scheiber Chr. Holzatlas.— Leipzig: Fachbuchverlag, 1974.

Поступила 11 октября 1988 г.

УДК 630\*812

## АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВОЙ *Hipporhae rhamnoides* L. В СВЯЗИ С ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

В. Э. ЛОБЖАНИДЗЕ

Институт горного лесоводства, Тбилиси

В арборифлоре Закавказья имеется ряд древесных растений, древесина которых отличается высокой декоративностью, однако ее используют, в основном, на топливо, тогда как мебельная промышленность страны испытывает острую нужду в декоративной (облицовочной) древесине. Редкость этих пород часто приводят как довод против их промышленного использования. Однако этот довод, как отмечает А. А. Яценко-Хмелевский [12], несостоятелен, так как при правильной организации дела можно без всякого ущерба для лесов ежегодно заготавливать значительное количество декоративной древесины, что даст сотни тысяч квадратных метров первоклассной декоративной фанеры.

К таким породам принадлежит облепиха крушиновая (*Hipporhae rhamnoides* L.), которую в малолесных регионах Закавказья, в частности в Армении, с древних времен применяли в основном как топливо. По данным Г. И. Маргайлика [6], на Памире с давних пор облепишники вырубали на топливо из-за высокой калорийности древесины. Уголь из древесины облепихи очень ценили кузнецы и чайханщики для заполнения жаровен. Ветками облепихи топили знаменитые восточные печитандуры для выпечки лепешек.

Древесина облепихи, как отмечает А. А. Яценко-Хмелевский [13], представляет интерес для столярных, токарных и резных работ, крестьяне Закавказья охотно употребляют ее для столбов виноградников, так как они из-за сильного развития ядра долго не гниют в сырой почве.

По данным Н. Н. Кецховели [4], облепишники в Грузии занимают более 30 тыс. га, половина из них представлена древовидными мужскими экземплярами, которые, естественно, не плодоносят, достигают больших размеров (рис. 1) и представляют интерес как древесное сырье.

В отличие от других кавказских пород с декоративной древесиной (клен, платан, дикая черешня, каркас, хурма, дзельква и др.), произрастающих разбросанно или единично, древовидные облепишники произрастают совместно, что значительно облегчит заготовку.

Кавказский климат облепихи, отмечает И. П. Елисеев [3], в географических районах с достаточным увлажнением отличается большим ростом (до 12 м) и сравнительно крупными листьями. На одном из объектов нашего исследования (Атенское ущелье Малого Кавказа) высота 35-летней особи облепихи составляла 12 м при таксационном диаметре 48 см, ширина годовых колец в стволе этого экземпляра —

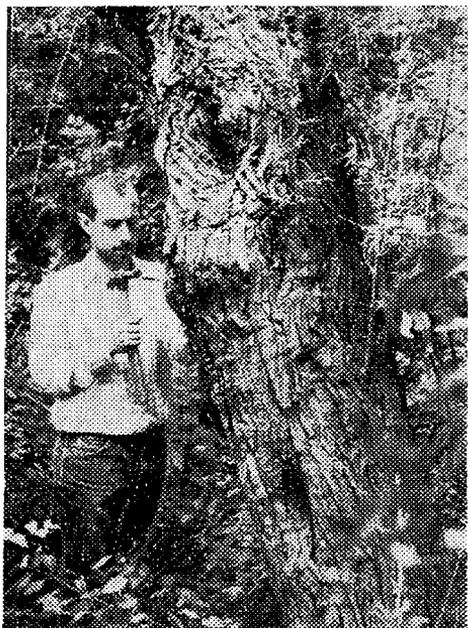


Рис. 1. Облепиха крушиновая 35-летняя в Атенском ущелье (850 м н. у. м.)

Л. М. Перельгин [8], что изучение в данной области сопряжено с большими трудностями, так как понятие «условие произрастания» включает в себя комплекс факторов — географическую область, высоту над уровнем моря, температуру, количество осадков, почвенные условия, положение дерева в древостое и т. п. — и не всегда возможно выделить влияние одного фактора.

Мы впервые исследовали анатомическую структуру и технические свойства древесины облепихи как породы, дающей высококачественное древесное сырье; при этом открылись новые перспективы использования декоративной древесины по целевому назначению.

Изучение проводили на двух контрастно отличающихся физико-географическими условиями объектах: 1) в Атенском ущелье (Триалетский хребт Малого Кавказа, 850 м н. у. м.); 2) в Дарьяльском ущелье Большого Кавказа (1 800 м н. у. м.).

Атенское ущелье расположено в центре Карталинии, в правобережье р. Куры. Климат ущелья горный континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет 7,7 °С, годовая сумма осадков — 608 мм, относительная влажность воздуха — 72 %. Главный почвенный тип — коричневые лесные почвы.

В Дарьяльском ущелье (ущелье р. Терека) места произрастания облепихи находятся на высоте 1 800 м н. у. м. в области субальпийского умеренно-влажного климата. По данным В. З. Гулишавили [2], климат зоны субальпийской растительности холодный, с коротким прохладным летом и суровой затяжной зимой. Среднегодовая температура воздуха составляет 3,2 °С, количество осадков — 1 370 мм, продолжительность вегетационного периода — 3...4 мес. Мощность снежного покрова — от 30 до 186 см. Почвы слабообразованные, примитивные, смытые, каменисто-щебенчатые, сильно эродированные.

Образцы для испытания изготавливали из стволов мужских особей. Для проведения исследования на каждом объекте было взято по три модельных дерева.

Анатомическая структура древесины исследована методом А. А. Яценко-Хмельевского [11], а физико-механические свойства — согласно действующим ГОСТам «Древесина».

Для определения механических свойств образцы испытывали на пятитонной универсальной испытательной машине типа «ЗДМ-5/91» в лаборатории древесиноведения Института горного лесоводства (рис. 2, 3). Цифровой материал обработан методом вариационной статистики на ЭВМ «Наири».

15...20 мм. Древесину этих деревьев с великолепной текстурой желтовато-коричневого цвета, схожей с древесиной каштана и вяза, успешно можно использовать для получения декоративной фанеры.

Механические повреждения ветвей облепихи, наносимые во время сбора плодов, способствуют расселению на ветвях ложного облепихового трутовика (*Phellinus robustus* var. *hippophaes* Donh.), вызывающего коррозийно-деструктивную гниль древесины ветвей, однако этот процесс очень редко распространяется на стволы облепихи и почти не влияет на выход фанерного сырья.

Крупнейшие исследователи [1, 7, 8, 10] занимались проблемой влияния условий местопроизрастания (типов леса) на технические качества, строение и физико-механические свойства древесины основных лесообразующих пород страны, однако в древесиноведческой литературе этот вопрос освещен недостаточно. Объясняется это тем, отмечал

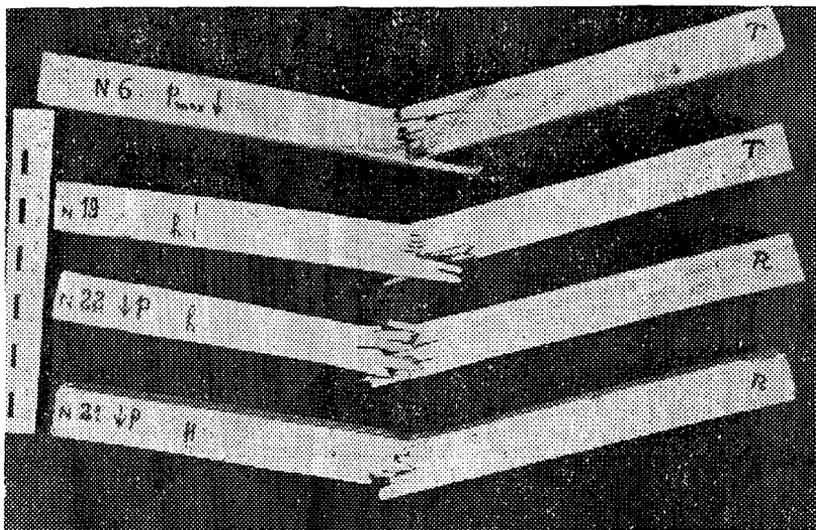


Рис. 2. Защепистый или волокнистый излом образцов древесины облепихи при статическом изгибе в радиальной (вверху) и тангенциальной плоскости, свидетельствующий о высоком качестве древесины

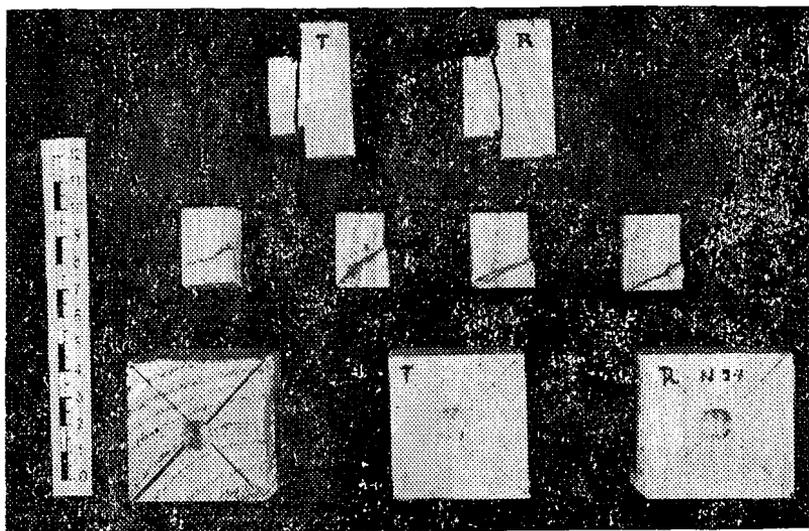


Рис. 3. Характер разрушения образцов древесины облепихи при скальвании (вверху) и сжатии (в середине) вдоль волокон и испытанные образцы на статическую твердость в трех плоскостях ствола

Детальная характеристика анатомической структуры древесины облепихи крушиновой изложена нами ранее [5]. Сравнительный анализ структуры и размеров анатомических элементов древесины облепихи в связи с экологическими условиями показал, что ксилема, сформированная в экспериментальных условиях субальпийской зоны (1800 м н. у. м.), более узкослойная и плотная, чем из среднего горного пояса (850 м н. у. м.). Средняя ширина годичных колец древесины облепихи из Дарьяльского ущелья составляет 2,5 мм, из Атенского — вдвое

Физико-механические свойства древесины	Направление среза	Показатели вариационной статистики						Процент от покая затея 1-го объекта
		Атенское ущелье			Дарьяльское ущелье			
		Число наблюдений	Среднее арифметическое значение	%	Число наблюдений	Среднее арифметическое значение		
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	—	50	620 ± 2,8	100	50	645,0 ± 13,0	104	
Коэффициент усушки, %	Радиальное	100	0,1 ± 0,004	100	50	0,1 ± 0,004	100	
	Тангенциальное	100	0,15 ± 0,004	100	50	0,13 ± 0,006	130	
Коэффициент разбухания, %	По объему	100	0,33 ± 0,005	100	50	0,37 ± 0,005	112	
	Радиальное	100	0,15 ± 0,006	100	75	0,15 ± 0,004	100	
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	Тангенциальное	50	0,20 ± 0,01	100	50	0,25 ± 0,004	125	
	По объему	50	0,35 ± 0,01	100	50	0,45 ± 0,007	129	
Статическое изгибе, МПа	—	50	45,0 ± 0,6	100	50	53 ± 1,0	117	
	Радиальное	50	70,0 ± 2,0	100	50	80,0 ± 1,6	114	
Статическая твердость, Н/мм <sup>2</sup>	Тангенциальное	50	82,0 ± 2,0	100	50	82,0 ± 1,6	100	
	Радиальное	50	11,0 ± 0,2	100	50	11,0 ± 0,2	100	
Торцовое	Радиальное	50	11,0 ± 0,2	100	50	11,0 ± 0,2	100	
	Тангенциальное	50	62,0 ± 1,0	100	—	—	—	
Радиальное	Радиальное	50	42,0 ± 1,0	100	—	—	—	
	Тангенциальное	50	45,0 ± 1,0	100	—	—	—	

больше, а содержание в годичных кольцах поздней древесины составляет 40 и 35 %. Средний диаметр стволов 30-летних модельных деревьев равен соответственно 16 и 30 см, средний диаметр просветов сосудов в ранней древесине — 290 и 360 мкм, в поздней — 136 и 152 мкм, поперечные диаметры волокон либриформа — 20 и 24 мкм, длина волокна либриформа — 900 и 856 мкм, толщина их стенок 8 и 6 мкм, высота радиальных лучей — 520 и 600 мкм.

Показатели физико-механических свойств древесины облепихи, произрастающей в Атенском и Дарьяльском ущельях, при 12 %-й влажности приведены в таблице. Из данных таблицы видно, что древесина облепихи из пойменных лесов Атенского ущелья, согласно классификации Л. М. Перелыгина и Б. Н. Уголева [8], относится к мало-

усыхающим (коэффициент объемной усушки составляет 0,33 %) средней плотности (620 кг/м<sup>3</sup>). Коэффициенты разбухания древесины облепихи близки к коэффициентам усушки и в радиальном направлении составляют 0,15 %, в тангенциальном — 0,20 и по объему — 0,35 %.

Предел прочности древесины облепихи при сжатии вдоль волокон при нормализованной влажности (12 %) составляет 45, при статическом изгибе в радиальном направлении — 70, в тангенциальном — 82 МПа. Прочность древесины облепихи при скалывании в радиальном и тангенциальном направлениях, так же как и древесины хвойных, практически одинакова и составляет 11,0 МПа, что можно объяснить наличием в древесине узких радиальных лучей.

Торцовая статическая твердость древесины облепихи при 12 %-й влажности составляет 62 Н/мм<sup>2</sup>, твердость боковых поверхностей — 43,5 Н/мм<sup>2</sup>. Статическая твердость торцов поверхности на 30 % выше, чем боковых поверхностей, твердость тангенциальной поверхности на 9 % выше, чем радиальной. Следовательно, исследованная нами древесина облепихи по твердости торцовой поверхности, согласно классификации Б. Н. Уголева [9], относится ко второй группе — к твердым породам (41... 80 Н/мм<sup>2</sup>).

Если вышеуказанные численные значения принять за 100 %, то те же показатели физико-механических свойств древесины облепихи, произрастающей в Дарьяльском ущелье, в прирусловой части р. Терека, будут составлять 100... 130 % (см. табл.), т. е. сравнительно выше, что объясняется узкослойностью и плотностью этой древесины.

Таким образом, быстрорастущие кавказские популяции облепихи крушиновой даже в экстремальных условиях малолесных регионов представлены деревьями третьей величины и дают высококачественную декоративную древесину, которую следует использовать только по целевому назначению.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вихров В. Е. Строение и физико-механические свойства древесины дуба в связи с условиями произрастания.— М.; Л.: Гослесбумиздат, 1950.— 346 с. [2]. Гулисашвили В. З. Природные зоны и естественно-исторические области Кавказа.— М.: Наука, 1974.— 326 с. [3]. Елисеев И. П. Формирование популяции и эко-типов *Hippophae rhamnoides* L. // Биология, химия и фармакология облепихи.— Новосибирск: Наука, 1983.— 124 с. [4]. Кецховели Н. Н. Растительный покров Грузии.— Тбилиси: Изд. АН ГССР, 1959.— 441 с. [5]. Лобжанидзе В. Э. Об анатомической структуре древесины облепихи крушиновидной // Биология, химия, интродукция и селекция облепихи.— Горький, 1986.— С. 86—88. [6]. Маргайлик Г. И. Облепиха на Памире // Садоводство.— 1976.— № 8.— С. 22. [7]. Мелехов И. С. Значение типов леса и лесорастительных условий в изучении строения древесины и ее физико-механических свойств // Тр. Ин-та леса АН СССР.— М.; Л., 1949.— Т. 4.— С. 11—20. [8]. Перелыгин Л. М., Уголев Б. Н. Древесиноведение.— М.: Лесн. пром-сть, 1971.— 286 с. [9]. Уголев Б. С. Древесиноведение с основами лесного товароведения.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.— 334 с. [10]. Чеведаев А. А. Дуб, его свойства и значение.— М.: Гослесбумиздат, 1963.— С. 207—209. [11]. Яценко-Хмелевский А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины.— М.; Л., 1954.— 337 с. [12]. Яценко-Хмелевский А. А. Направление научно-технического прогресса в промышленном использовании древесины // Лес и древесина в будущем.— М.: Лесн. пром-сть, 1973.— С. 133—134. [13]. Яценко-Хмелевский А. А., Лебедева Л. А., Никонорова Е. В. Строение древесины кустарниковых пород флоры СССР.— Л., 1983.— 56 с.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 547.992.3 : 630\*813

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ  
ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЕЙ

А. А. РЯЗАНЦЕВ, А. М. ПОГАЛЕЕВА, О. Д. НАЙДАНОВ

Институт естественных наук БНЦ СО АН СССР  
Хабаровский политехнический институт

В настоящее время, когда особое внимание уделяется экологическим проблемам, важно решить задачу эффективного удаления лигносульфонатов (ЛС) из сточных вод целлюлозно-бумажного производства, так как они практически не разлагаются биологическим путем в естественных условиях и экологически опасны для окружающей среды. Частично проблема решается коагуляцией ЛС солями поливалентных металлов [3], но в этом случае исключается использование воды в системах замкнутого водооборота, так как в ней накапливаются соли.

Перспективным методом очистки сточных вод от ЛС может стать ультрафильтрация (УФ) [11], которая позволяет осуществлять не только концентрирование, но и фракционирование ЛС, что расширяет возможности применения последних в различных технологических процессах.

Представляет интерес также изучить комплексообразование ЛС с ионами тяжелых металлов, содержащихся в сточных водах промышленных предприятий.

В данной работе изучено фракционирование сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ) на аммониевом основании Амурского ЦКК на ацетатцеллюлозных мембранах типа УАМ, а также исследованы закономерности концентрирования и взаимодействия ЛС с ионами меди.

Опыты по УФ-фракционированию проводили в стандартной ячейке ФМО2-200 объемом 200 см<sup>3</sup> и площадью мембраны 26,4 см<sup>2</sup> при интенсивном перемешивании раствора над мембраной (центробежный критерий Рейнольдса составлял ~ 10 000). Размер пор мембран, согласно паспортным данным, составлял 10...50 нм, рабочее давление — 0,5 МПа. Концентрация ЛС, определенная по сухому остатку, в исходной СДБ составляла 60...80 г/дм<sup>3</sup>, в фильтрате — 20...40 г/дм<sup>3</sup>. Молекулярные массы и молекулярно-массовое распределение (ММР) экспериментально определяли хроматографированием на гелях марки «Sephadex» G-75 и G-150 (1:1) с последующей обработкой результатов на ЭВМ ЕС-1033. В качестве элюента применяли хлоридно-фосфатный буфер (1 М NaCl, 0,055 М NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,018 М NaOH), имеющий рН 6,2. Детектирование элюента проводили на спектрофотометре СФ-26 при λ = 280 нм.

Для преобразования гель-хроматограмм в кривые ММР использовали зависимость между объемом элюирования (коэффициентом распределения) и молекулярной массой вида  $K^{1/3} = a - bM^{1/2}$  [6, 9]. Данная функциональная зависимость наилучшим образом описывает связь между  $K$  и  $M$  при хроматографировании растворов ЛС в хлоридно-фосфатном буфере на сефадексах G-75 и G-150. Коэффициенты уравнения получены калибровкой хроматографической колонки с помощью эталонных образцов фракций лигнина ПП-66 и декстранов 60-90Т. Пределы фракционирования устанавливали по декстрану-голубому и ванилину. Качественные и количественные изменения химической структуры фракционированных ЛС изучены методом ИК-спектроскопии на приборе марки «Srecord IR-75». Относительное содержание функциональных групп в ЛС найдено по относительной оптической плотности (ООП) анализируемой полосы (внутренний стандарт 1 520 см<sup>-1</sup>) [8].

Растворы ЛС представляют собой сложную и неустойчивую лиофильную систему [7], в которой молекулы связаны, по-видимому, ассо-

диативными силами в агрегаты. В некоторых случаях (при нагревании) ЛС ассоциируются в комплексы, состоящие из настолько большого числа молекул, что этот процесс часто называют полимеризацией [4]. Нет еще единого мнения о форме существования частиц ЛС. Вероятно, частицы с молекулярной массой до 5 000 представляют собой линейные или близкие к ним нитевидные молекулы, а высокомолекулярные — разветвленные цепи.

Таблица 1

Результаты фракционирования СДБ

Условия	$M_z$	$M_w$	$M_n$	СПД <sub>1</sub>	СПД <sub>2</sub>
СДБ	33 500	14 700	6 820	2,15	2,28
УАМ-100	3 650	3 620	3 587	1,01	1,01
» -150	4 170	3 480	2 420	1,44	1,20
» -200	5 190	4 700	2 903	1,62	1,10
» -500	6 000	2 640	596	4,43	2,27
» -500*	11 590	7 420	3 655	3,16	1,56
Нефракционированный остаток	10 550	5 600	2 915	1,92	1,88

Примечание.  $M_z$ ,  $M_w$ ,  $M_n$  — среднее, среднемассовое и среднечисловое значения молекулярных масс ЛС.  $СПД_1 = M_z/M_n$ ,  $СПД_2 = M_z/M_w$  — степень полидисперсности ЛС.

Таблица 2

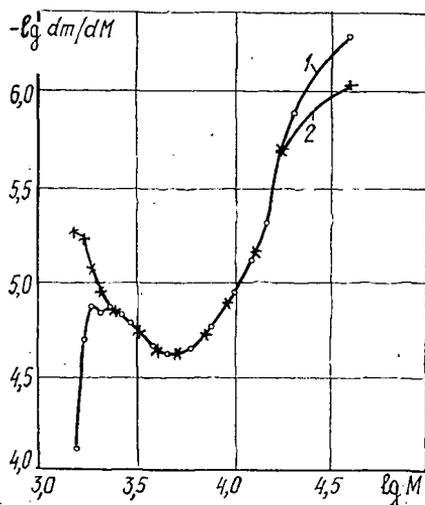
ММР в фракциях СДБ

Условия	Массовое содержание ЛС, %, с различными молекулярными массами					
	до 1 000	1 000— —3 000	3 000— —5 000	5 000— —10 000	10 000— —50 000	Свыше 50 000
СДБ	2,5	22	23	23,5	27	2
УАМ-100	—	8	92	—	—	—
» -150	4	67	26	3	—	—
» -200	—	70	19	10	1	—
» -500	60	24	8	6	2	—
» -500*	—	51	8	32	9	—
Нефракционированный остаток	5	65	15	12	3	—

В табл. 1 и 2 представлены результаты расчета средних молекулярных масс и ММР лигносульфонатов в различных фракциях СДБ до и после ультрафильтрации. Звездочкой обозначена фракция УАМ-500 через 6 мес хранения в закрытом сосуде при комнатной температуре.

Происходит существенное изменение в ММР по сравнению с СДБ. Доля высокомолекулярных ЛС (свыше 5 000) снижается с 52 до 15 % в нефракционированном остатке, а доля ЛС с молекулярной массой 1 000—5 000 возрастает до 80 % и более. В фильтрате фракции УАМ-500 появляются низкомолекулярные фрагменты с молекулярной массой меньше 1 000.

Полученные результаты позволяют предположить, что при продавливании СДБ через пористые ацетатцеллюлозные мембраны происходит разрушение ассоциатов ЛС. При этом мембраны УАМ-100, -150, -200 селективно пропускают фрагменты ЛС с молекулярной массой 1 000—5 000. Отсутствие в фильтрате этих мембран низкомолекулярных фрагментов ЛС можно объяснить формированием на поверхности



Дифференциальные кривые ММР ЛС фракции УАМ-500: 1 — УАМ-500; 2 — УАМ-500 + Cu

но слабы и легко разрушаются при ультрафильтрации ЛС через ацетатцеллюлозные мембраны. Понятно, почему в процессе УФ-выделения высокомолекулярных фракций ЛС, используемых в процессах обогащения руд [5], образуется фильтрат, содержащий 25...30 % ЛС от общего их содержания в щелоче в виде низкомолекулярных фрагментов. Возникает проблема выделения этих ЛС из сточных вод.

Анализ данных по УФ СДБ показывает, что перспективным может оказаться фильтрация с использованием динамических мембран, образованных самими ЛС в процессе очистки сточных вод. ИК-спектры фракционированных ЛС в области низких частот имеют максимумы полос поглощения важнейших структурных фрагментов лигнина [2, 10].

Таблица 3

ООП полос поглощения в ИК-спектрах функциональных групп и фрагментов молекул ЛС

Условия	ООП функциональных групп ЛС					
			ОН <sub>3</sub>	ОН <sub>ар</sub>	ОН <sub>ал</sub>	R-O-SO <sub>2</sub> -R
СДБ	1,15	1	1,19	1,85	2,15	1,86
УАМ-500	1,06	1	1,31	1,90	1,94	1,68
Нефракционированный остаток	1,40	1	1,34	2,60	2,46	2,03
УАМ-500 + Cu	2,47	1	1,34	2,60	2,47	2,33

Анализ ООП полос поглощения (табл. 3) и сопоставление результатов с данными ММР показывает, что ЛС фракции УАМ-500, где наибольшая степень полидисперсности и наименьшие средние молекулярные массы, содержат меньше алифатических гидроксидов и группировок R-O-SO<sub>2</sub>-R (1 125 см<sup>-1</sup>), чем исходная СДБ и ЛС нефракционированного остатка.

Увеличение количества всех функциональных групп, приходящихся на одну фенилпропановую единицу, свидетельствует о том, что возрастание молекулярных масс не сопровождается процессом поликон-

фильтра гелевого слоя (динамических мембран) [1], заряд которого способствует задержке ЛС с молекулярной массой меньше 1000. При УФ СДБ через УАМ-500 определяющим является не только заряд гелевого слоя, но и размер пор мембраны, что приводит к увеличению степени полидисперсности ЛС в фильтрате. Экспериментальное определение молекулярных масс и ММР в фильтрате фракции УАМ-500, проведенное через 6 мес, показывает, что при комнатной температуре вновь происходит ассоциация ЛС с образованием агрегатов, имеющих молекулярную массу до 50 000 (табл. 1, 2). По-видимому, нитевидные фрагменты ЛС образуют агрегаты с помощью молекул воды. Возникающие связи достаточно

денсации или полимеризации, а есть результат образования агрегатов частиц. Заметное уменьшение количества группировок  $R-O-SO_2-R$  в фильтрате фракции УАМ-500 обусловлено образованием большого числа низкомолекулярных фрагментов с молекулярной массой меньше 1000. Этот вывод подтверждается проведением реакции взаимодействия ЛС фракции УАМ-500 с ионами меди. Комплексообразование с ионами меди приводит к сшиванию низкомолекулярных фрагментов ЛС через сульфогруппы в более крупные коллоидные агрегаты (см. рис., табл. 3). Резкое увеличение интенсивности полосы при  $1620\text{ см}^{-1}$  указывает на то, что образование комплексов меди с ЛС одновременно сопровождается внедрением молекул воды в состав внутренней структуры коллоидных частиц ЛС.

Таким образом, присутствие ионов меди в растворе, содержащем ЛС, способствует укрупнению частиц полиэлектролита и может повысить эффективность УФ-очистки воды от ЛС. С другой стороны, введение ЛС в сточные воды, содержащие медь, будет способствовать более эффективной задержке ионов металла ацетатцеллюлозными мембранами.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Дытнерский Ю. И. Обратный осмос и ультрафильтрация.— М.: Химия, 1978.— 352 с. [2]. Исследование лигносульфоновых кислот, выделенных из щелоков лабораторных и заводских варок / Л. Н. Можейко, В. Н. Сергеева, Л. А. Гринева, Д. Ю. Балцере // Химия древесины.— 1972.— № 11.— С. 77—85. [3]. Максимова В. Р., Вольф И. В., Яковлева О. И. Борьба с загрязнением окружающей среды в целлюлозно-бумажной промышленности.— М.: Знание, 1976.— 60 с. [4]. Попова В. Л. Исследование влияния производственных факторов переработки сульфитных щелоков на свойства технических лигносульфонатов и совершенствование их технологии: Автореф. дис... канд. хим. наук.— Л., 1981.— 19 с. [5]. Разделение водных растворов лигносульфоновых кислот ультрафильтрацией / А. Т. Пилпенко, Е. А. Цапюк, М. И. Медведев и др. // Химия и технология воды.— 1983.— 6, № 2.— С. 155—158. [6]. Рафиков С. Р., Павлова С. Н., Твердохлебова И. И. Методы определения молекулярных весов и полидисперсности высокомолекулярных соединений.— М.: Изд-во АН СССР, 1963.— С. 6—8. [7]. Сапотницкий С. А. Использование сульфитных щелоков.— М.: Лесн. пром-сть, 1982.— 250 с. [8]. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия.— М.: Мир, 1982.— 328 с. [9]. Химия и использование лигнина / Б. Д. Богомолов, О. М. Соколов, Н. Д. Бабикина и др.— Рига: Зинатне, 1974.— С. 107—112. [10]. Хомик Л. И., Рязанцев А. А., Погалева А. М. Модификация технических лигносульфонатов, используемых в качестве связующих // Лесн. журн.— 1987.— № 2.— С. 72—75.— (Изв. высш. учеб. заведений). [11]. O l s e n O. // Desalination — 1980.— V. 35, 1—3.— P. 291—302.

Поступила 27 июля 1988 г.

УДК 630\*813.4

### ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ КОМПОЗИЦИЯМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАЛКИЛГИДРИДСИЛОКСАНОВ

В. И. СИДОРОВ, Е. Н. ПОКРОВСКАЯ, Н. В. ВЕЛИКАНОВА

Московский инженерно-строительный институт

Гигроскопичность древесины обусловлена высокой способностью к сорбции воды, что приводит к набуханию и развитию необратимых деформаций в конструкциях из древесины. При эксплуатации изделий и конструкций из древесины в условиях переменной влажности уменьшается их долговечность. Вопросы стабильного и долгосрочного уменьшения водопоглощения актуальны и на данный момент не решены.

Химическая модификация древесины должна обеспечить длительный эффект понижения гигроскопичности за счет блокирования гидро-

кислых групп, наполнения клеточных стенок и капиллярно-пористой структуры, а также изменения плотности сшивки лигно-гемицеллюлозной матрицы [4].

Известно [2], что модифицирование древесины полиэтилгидросилоксаном в жестких условиях ( $t = 140 \dots 180$  °С в течение 12...36 ч) приводит к ее формостабильности и уменьшению водопоглощения. Авторам работы [1] удалось значительно снизить длительность термообработки образцов древесины, пропитанной полиэтилгидросилоксаном, используя соли свинца, олова, алюминия, амины в качестве катализатора отверждения олигомера.

Перечисленные способы отверждения полиалкилгидридсилоксанов не технологичны для применения с целью уменьшения водопоглощения большепролетных конструкций из древесины.

Цель данной работы — изучить композиции на основе полиалкилгидридсилоксанов, которые модифицировали древесину в мягких условиях ( $t = 60$  °С, поверхностная пропитка).

В качестве модифицирующих веществ использовали полиэтилгидридсилоксан (ГКЖ-94) и полиметилгидридсилоксан (КОС) с  $n = 20, 200$  и  $1000$ . В композицию с полиалкилгидридсилоксанами вводили полибутилтитанат (ПБТ), тетраакис (триэтиламинотитанат; ТЭАТ), полибутоксититанокилополиметилсилоксан (БТМС), 1,2-пропандиамин (ПДА), фторид калия и трис (трифенилфосфин) хлорид родия.

Модифицирование проводили на опилках сосны (размер частиц 0,25 мм) в растворе четыреххлористого углерода при температуре 60 °С в течение 3 ч как однаста-

Таблица 1

№ п/п	Модифицирующее соединение	Катализатор отверждения	Соотношение древесины : модификатор : катализатор	Уменьшение водопоглощения в $n$ раз через суток		
				1	15	45
1	КОС ( $n=20$ )	—	1 : 1	0,75	1,00	1,07
2	»	ПБТ	1 : 1 : 0,1	0,75	1,09	1,36
3	»	БТМС	1 : 1 : 0,1	1,00	1,2	0,92
4*	»	ТЭАТ	1 : 1 : 0,1	1,30	1,40	1,55
5	»	»	1 : 1 : 0,1	1,27	2,12	1,43
6	»	NH <sub>4</sub> F	1 : 1 : 0,025	1,16	1,79	1,84
7	»	KF	1 : 1 : 0,025	0,89	1,31	1,50
8	»	(Ph <sub>3</sub> P) <sub>3</sub> RhCl	1 : 1 : 5 · 10 <sup>-4</sup>	0,65	0,90	1,20
9	КОС ( $n = 200$ )	—	1 : 1	1,00	1,27	0,95
10	»	ПБТ	1 : 1 : 0,1	2,14	2,22	1,66
11	»	БТМС	1 : 1 : 0,1	2,5	0,75	1,11
12*	»	ТЭАТ	1 : 1 : 0,1	2,22	2,33	1,95
13	»	»	1 : 1 : 0,1	1,32	1,55	1,84
14	»	NH <sub>4</sub> F	1 : 1 : 0,025	1,08	1,16	0,98
15	»	KF	1 : 1 : 0,025	0,91	1,10	1,62
16	»	(Ph <sub>3</sub> P) <sub>3</sub> RhCl	1 : 1 : 5 · 10 <sup>-4</sup>	0,05	1,13	1,62
17	КОС ( $n = 1000$ )	—	1 : 1	1,00	2,00	0,80
18	»	ПБТ	1 : 1 : 0,1	2,14	2,14	1,53
19	»	БТМС	1 : 1 : 0,1	3,00	0,85	1,20
20	»	ТЭАТ	1 : 1 : 0,1	1,70	1,75	2,02
21	»	NH <sub>4</sub> F	1 : 1 : 0,025	1,40	1,74	2,12
22	»	KF	1 : 1 : 0,025	1,15	1,44	1,80
23	»	(Ph <sub>3</sub> P) <sub>3</sub> RhCl	1 : 1 : 5 · 10 <sup>-4</sup>	0,79	0,97	1,33
24	ГКЖ-94	—	1 : 1	1	1,25	0,95
25	»	ПБТ	1 : 1 : 0,1	1	1,46	1,36
26	»	БТМС	1 : 1 : 0,1	1,5	0,85	0,83
27	»	ТЭАТ	1 : 1 : 0,1	1,62	2,70	1,93
28	»	KF	1 : 1 : 0,1	0,91	1,10	1,62
29	»	(Ph <sub>3</sub> P) <sub>3</sub> RhCl	1 : 1 : 5 · 10 <sup>-4</sup>	0,98	1,12	1,83
30	»	ПДА	1 : 1 : 0,3	1,85	1,94	1,80

\* Двухступенчатая обработка.

дийно, так и в две стадии — при отдельной обработке опилок раствором, содержащим соответствующий катализатор отверждения, а затем раствором полиалкилгидридсилоксана.

После модифицирования опилки промывали, а затем экстрагировали в аппарате Сокслета четыреххлористым углеродом в течение 5 ч для удаления неотвержденного полиалкилгидридсилоксана. Затем опилки высушивали на воздухе и исследовали на водопоглощение. Водопоглощение вычисляли по привесу опилок после замачивания в течение 24 ч, 15 и 45 сут. Для определения оптимальных условий модифицирования варьировали состав композиций.

Данные зависимости водопоглощения модифицированных опилок от состава композиций приведены в табл. 1.

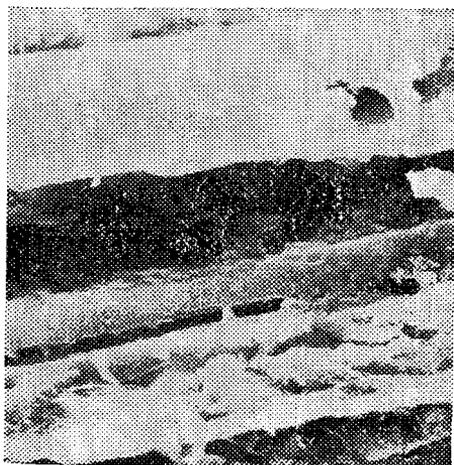
Как видно из табл. 1, замена метильного радикала (КОС) на этильный (ГКЖ-94) практически не сказывается на величине водопоглощения. Увеличение степени полимеризации для КОС незначительно влияет на водопоглощение. Основной фактор, влияющий на уменьшение водопоглощения, — катализатор отверждения. Наилучшие результаты получены с использованием ТЭАТ, фторида калия и 1,2-пропандиамина.

Наибольший интерес представляли композиции на основе ГКЖ-94, так как это промышленный продукт. Чтобы сопоставить количество остаточного кремния с эффектом уменьшения водопоглощения, в экстрагированных образцах модифицированных опилок определяли процентное содержание кремния [3].

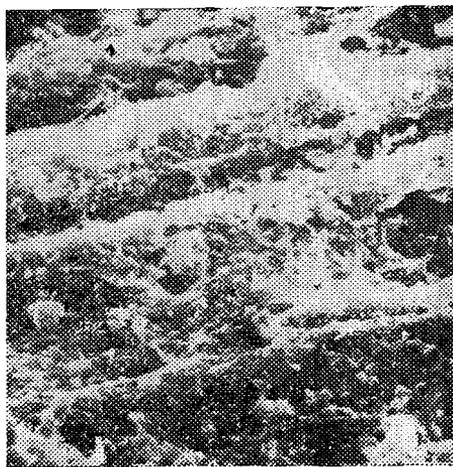
Таблица 2

Уменьшение водопоглощения модифицированной древесины  
в зависимости от количества остаточного кремния

№ п/п	Состав модифицирующей композиции	Соотношение древесины : модификатор : катализатор	Si, %	Уменьшение водопоглощения в л раз через 45 сут
1	Древесина + ГКЖ-94	1 : 1	0,25	0,95
2	» + ГКЖ-94 + KF	1 : 1 : 0,025	1,77	1,62
3	» + ГКЖ-94 + БТМС	1 : 1 : 0,1	0,44	0,83
4	» + ГКЖ-94 + ПДА	1 : 1 : 5 · 10 <sup>-4</sup>	2,36	1,83



а



б

Размещение отвержденного этилгидридсилоксана в древесине сосны (тангентальный срез): а — с помощью ТЭАТ; б — термическое отверждение

Полученные данные приведены в табл. 2. Исследование опилок, модифицированных полиэтилгидридсилоксаном в присутствии ТЭАТ и фторида калия, позволяет сделать вывод о химической модификации древесины. (Во всех образцах после экстракции обнаружен кремний).

Снимки, полученные с помощью электронного микроскопа (см. рис.), показали, что композиции с использованием ТЭАТ (а) образуют монолитные, ориентированные вдоль стенок капилляров древесины отложения полимера.

В заключение следует сказать, что предложенные композиции на основе полиэтилгидросилоксана не только химически модифицируют древесину, но и формируют плотное отложение отвержденного полимера вдоль стенок капилляров. Это, в свою очередь, приводит к существенному уменьшению водопоглощения древесины.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Влияние способа отверждения этилгидридсилоксана в древесине сосны на термическую устойчивость модифицированной древесины / В. В. Мнускина, В. С. Масляев, Г. М. Тельшева, В. Н. Сергеева // Химия древесины.—1984.— № 3.— С. 103—108. [2]. Воловик А. Г., Верховец А. К., Попова Н. И. Модифицирование древесины полиэтилгидросилоксаном и исследование механизма этого процесса.— Воронеж, 1980.— 26 с.— Деп. в ВНИИПИЭИлеспром 13.05.80, № 554. [3]. Шанина Т. М., Гельман Н. Э., Кипаренко Л. М. Количественный анализ элементоорганических соединений. Спектрофотометрическое микроопределение кремния // Журн. аналит. химии.—1965.— 20, № 1.— С. 118—125. [4]. Эриньш П. П. Основные принципы химического модифицирования древесины // Теоретические аспекты модифицирования древесины: Тез. докл. Всесоюз. конф.— Рига: Зинатне, 1983.— С. 99—104.

Поступила 7 декабря 1987 г.

УДК 676.2 : 537.213

### НЕЙТРАЛЬНАЯ ПРОКЛЕЙКА МЕШОЧНОЙ БУМАГИ

П. Ф. ВАЛЕНДО

Белорусский технологический институт

Для обеспечения сохранности продукции при транспортировке важное значение имеют качественные характеристики тароупаковочных видов бумажной продукции. В XII пятилетке особое внимание уделено улучшению качества бумажных мешков за счет увеличения производства мешочной бумаги с повышенной прочностью в сухом и влажном состоянии [5].

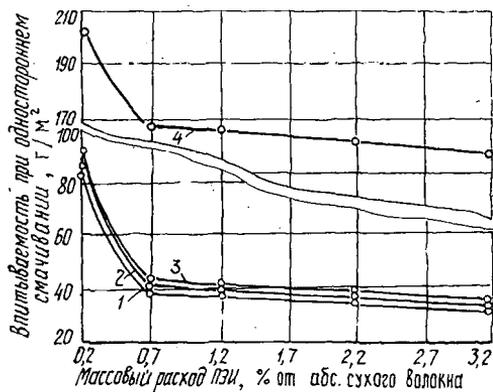
В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований по проклейке в массе опытной мешочной бумаги парафиновой дисперсией, стабилизированной омыленным талловым маслом.

Массовый расход дисперсии составил 1 %\*. Опытную бумагу массой 80 г/м<sup>2</sup> изготавливали из сульфатной небеленой целлюлозы (степень помола — 35 °ШР). Для осаждения парафиновой дисперсии в волокнистой массе в нейтральной среде взамен сернистого алюминия использовали полиэтиленмин (ПЭИ) с молекулярной массой 10 и 30 тыс. у. е., а также ПЭИ, модифицированный акриламидом (10 % АА) и акриловой кислотой (40 % АК) с молекулярной массой 30 тыс. у. е.

Полиэлектролит вводили в бумажную массу в два приема. Вначале в массу для осаждения дисперсии добавляли 0,2 % ПЭИ и перемешивали 2 мин, а затем — остальное количество ПЭИ для увеличения прочностных характеристик бумаги в сухом и влажном состоянии и перемешивали 5 мин. Из проклеенной массы на листоотливном аппарате типа ЦБТФ изготавливали опытную бумагу и после кондиционирования испытывали на стандартных приборах.

\* Здесь и далее массовый расход в процентах от абс. сухого волокна.

Рис. 1. Влияние расхода ПЭИ на впитываемость при одностороннем смачивании опытной мешочной бумаги: 1 — ПД + ПЭИ (молекулярная масса 30 тыс. у. е.); 2 — ПД + ПЭИ (10 тыс. у. е.); 3 — ПД + ПЭИ модифицированный (10 % АА, 40 % АК); 4 — ПЭИ (30 тыс. у. е.)



На рис. 1 представлена серия кривых, отражающих зависимость впитываемости при одностороннем смачивании образцов мешочной бумаги от расхода ПЭИ (кривые 1—3). Для сравнения дана кривая 4, показывающая такую же зависимость образцов, проклеенных одним ПЭИ.

Из рис. 1 следует, что фиксация парафиновых частиц, которая приводит к гидрофобизации бумаги и снижению впитываемости при одностороннем смачивании, достигается при добавках 0,7 % ПЭИ. Дальнейшее увеличение массового содержания ПЭИ до 3,2 % не оказывает существенного влияния.

Изменяя количество ПЭИ в системе, можно регулировать показатель впитываемости опытной бумаги при одностороннем смачивании в широких пределах в зависимости от потребительских свойств бумаги.

В табл. 1 представлены данные о влиянии добавок ПЭИ на электростатический потенциал (ЭКП) проклеенных волокон и степень удержания анионной парафиновой дисперсии целлюлозной массой.

Таблица 1

Массовый расход ПЭИ (молекулярная масса 30 тыс. у. е.), %	0,00	0,01	0,05	0,10	0,25	0,50
Степень удержания парафиновой дисперсии, %	4	27	86	100	100	100
ЭКП, мВ	-16,0	-15,0	-12,6	-10,3	+10,8	+14,5

Примечание. Во всех случаях массовый расход дисперсии 1 %.

Из табл. 1 следует, что с помощью макромолекул полиэлектролита ПЭИ, обладающих положительным зарядом, в системе анионная парафиновая дисперсия — волокнистая масса происходит перезарядка проклеивающих частиц и их гетероадагуляция. Увеличение гидрофобности бумаги при возрастании массового расхода ПЭИ от 0,2 до 0,7 % (рис. 1) происходит вследствие химического взаимодействия стабилизатора дисперсии — таллового масла и ПЭИ [2].

Из рис. 1 видно также, что молекулярная масса ПЭИ в пределах от 10 до 30 тыс. у. е., а также модификация ПЭИ (10 % АА, 40 % АК) не оказывают существенного влияния на конечные результаты проклейки в массе парафиновой дисперсией и ПЭИ. Проклейка в массе происходит в нейтральной среде, а это положительно влияет на веде-

ние технологического процесса, долговечность продукции и состояние оборудования [1].

Известно, что такие гидрофобизирующие проклеивающие добавки, как парафин, канифоль, воски и т. д., снижают межволоконные силы связи и прочность бумаги [3]. Поэтому с целью улучшения механических характеристик бумаги нами изучено влияние повышенных расходов ПЭИ на прочностные показатели мешочной бумаги.

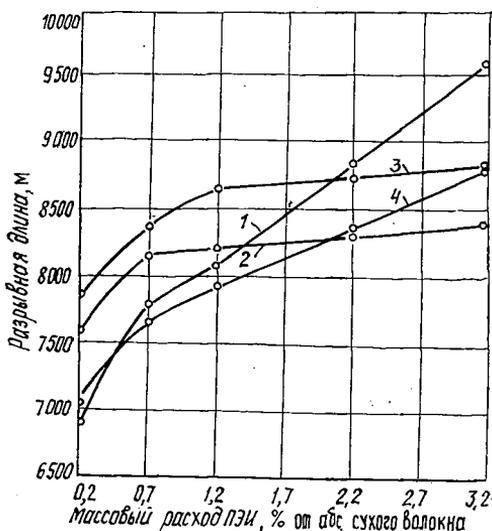


Рис. 2. Влияние расхода ПЭИ на разрывную длину опытной мешочной бумаги ( $\tau = 5$  мин,  $T = 120^\circ\text{C}$ ): 1 — ПД + ПЭИ (молекулярная масса 30 тыс. у. е.); 2 — ПД + ПЭИ (10 тыс. у. е.); 3 — ПД + ПЭИ модифицированный (10 % АА, 40 % АК); 4 — ПЭИ (30 тыс. у. е.)

На рис. 2 показано влияние расхода ПЭИ на разрывную длину опытной мешочной бумаги. Из рис. 2 следует, что разрывная длина возрастает по мере увеличения добавок полиэтиленimina, так как

макромолекулы ПЭИ образуют дополнительные межмолекулярные связи с гидроксильными группами и солевые с карбоксильными группами целлюлозных волокон. Увеличению концентрации межволоконных сил связи способствуют также повышение удержания мелких волокон и нейтральная среда в процессе формования и сушки бумажного листа [4].

В табл. 2 приведены данные о влиянии температуры  $T$  и продолжительности сушки  $\tau$  на разрывную длину бумаги.

Таблица 2

ПЭИ, %	Разрывная длина бумаги, м		
	$T = 100^\circ\text{C};$ $\tau = 5$ мин	$T = 120^\circ\text{C};$ $\tau = 5$ мин	$T = 120^\circ\text{C};$ $\tau = 20$ мин
0,2	6 830	6 870	7 060
0,7	7 710	8 370	8 230
1,2	8 090	8 680	8 550
2,2	8 840	9 300	9 200
3,2	9 590	9 930	9 840

Из табл. 2 видно, что при повышенной температуре ( $120^\circ\text{C}$ ) упрочняются межволоконные связи в бумаге и увеличивается ее разрывная длина. Увеличение продолжительности термообработки от 5 до 20 мин в сушильном шкафу не оказывает существенного влияния на разрывную длину бумаги.

Следовательно, сочетание проклейки в массе парафиновой дисперсией и катионными водорастворимыми полиэлектролитами типа полиэтиленimina и его модификаций позволяет осуществить проклейку в массе в нейтральной среде и получить бумагу с высокой гидрофобностью при сохранении и улучшении ее прочностных показателей.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Валендо П. Ф. Проклейка бумаги и картона в нейтрально-щелочной среде // Состояние и перспектива развития технологии проклейки бумаги: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986.— С. 8—9. [2]. Валендо П. Ф., Усова О. П. Исследование состава и свойств осадков, проклеивающих веществ // Лесн. журн.— 1985.— № 4.— С. 83—86.— (Изв. высш. учеб. заведения). [3]. Иванов С. Н. Технология бумаги.— М.: Лесн. пром-сть, 1970.— 695 с. [4]. Соломко В. С. Основные показатели развития целлюлозно-бумажной промышленности в мире // Обзор. информ.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986.— 40 с. [5]. Фляте Д. М. Свойства бумаги.— 3-е изд., перераб.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.— 679 с.

Поступила 29 апреля 1988 г.

УДК 630\*861.16

## ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ АММОЛИЗ ЕЛОВЫХ ОПИЛОК, МЕТИЛИРОВАННЫХ ДИМЕТИЛСУЛЬФАТОМ

И. П. ДЕЙНЕКО, С. И. КОЛОТОВ

Ленинградская лесотехническая академия

При окислительном аммолизе древесины окислению подвергается, в основном, лигнин, что обеспечивает довольно селективное протекание делигнификации. Как известно [5], макромолекула лигнина содержит большое число разнообразных функциональных групп, участие которых в реакциях окисления точно не определено. Установление природы реакционных центров, принимающих участие в реакциях с кислородом, полезно для выяснения механизма окисления лигнина, без понимания которого совершенствование окислительных методов делигнификации затруднено.

В настоящей работе представлены результаты исследования окислительного аммолиза метилированных диметилсульфатом еловых опилок. Поскольку диметилсульфат метилирует практически все гидроксильные группы лигнина [3], обработка древесины названным реагентом позволяет произвести замену этих группировок на метоксильные группы. Можно ожидать, что изменение реакционной способности модифицированного таким образом субстрата позволит сделать определенные выводы об участии в окислительных реакциях как гидроксильных, так и других функциональных групп лигнина.

При метилировании опилок (0,25...0,50 мм) использовали методику, предложенную для обработки нерастворимых лигнинов [3], причем для достижения максимальной степени замещения обработку проводили три раза.

Выход метилированной древесины составил 89,3 %, содержание метоксильных групп — 27,5 %. Поскольку метоксильных групп в исходной древесине было 5,35 %, количество прореагировавших гидроксильных групп древесного вещества составило 13,9 %. Учитывая, что общее содержание гидроксильных групп в еловом лигнине равно 12,3 %, можно считать, что метилирование лигнина прошло с достаточной полнотой. Степень метилирования гидроксильных групп полисахаридов не столь велика, поскольку их содержание в исходных пентозанах составляет 25,8 %, а в гексозанах — 31,5 %. По-видимому, в ходе обработки метилированию подвергаются, в основном, полисахариды, не входящие в труднодоступные для реагента кристаллические участки. Отсутствие прироста содержания метоксильных групп после третьего метилирования позволяет считать, что, как и в случае лигнина, метилирование углеводов, находящихся в аморфных областях, также дало высокую степень замещения.

В модифицированных опилках содержание лигнина, определенное в виде негидролизуемого остатка после удаления экстрактивных веществ (2,0 %), составило 30,1 %; в исходных опилках содержалось 27,4 % лигнина и 2,0 % экстрактивных веществ.

Окисление опилок (5 г) в 5 %-м водном растворе аммиака (0,5 л) проводили в однолитровом качающемся автоклаве ( $50 \text{ мин}^{-1}$ ) при  $130^\circ\text{C}$ . Длительность выхода на режим (0,5 ч) включали в общую продолжительность процесса. Начальное давление кислорода при комнатной температуре составляло 1,0 МПа (165 %  $\text{O}_2$  от массы опилок). Анализ газовой фазы и древесного остатка осуществляли известными методами [1, 4].

Результаты окислительного аммонолиза еловых опилок

Продолжительность процесса, ч	Выход древесного остатка, %	Содержание экстрактивных веществ, %	Содержание лигнина, %	Расход $\text{O}_2$ , % от а. с. д.	Выход $\text{CO}_2$ , % от а. с. д.
1	<u>78,4</u>	<u>0,45</u>	<u>22,4</u>	<u>14,0</u>	<u>7,3</u>
	93,3	1,87	30,3	5,2	1,9
2	<u>67,7</u>	<u>0,48</u>	<u>16,6</u>	<u>22,1</u>	<u>9,3</u>
	—	—	—	—	—
3	<u>58,8</u>	<u>0,51</u>	<u>9,8</u>	<u>24,9</u>	<u>11,3</u>
	83,9	3,16	30,0	9,4	2,9
4	<u>54,6</u>	<u>0,56</u>	<u>6,3</u>	<u>30,1</u>	<u>13,6</u>
	—	—	—	—	—
5	<u>50,8</u>	<u>0,59</u>	<u>3,6</u>	<u>33,2</u>	<u>16,1</u>
	65,4	6,90	32,2	14,0	5,1
6	<u>49,7</u>	<u>0,75</u>	<u>3,5</u>	<u>38,5</u>	<u>18,1</u>
	60,7	7,38	31,5	15,2	6,2

Примечание. В числителе приведены результаты окисления необработанных опилок; в знаменателе — предварительно метилированных опилок.

Результаты исследования (см. табл.) показали, что метилированные опилки менее реакционноспособны по сравнению с неметилированными. При окислении содержание остаточного лигнина в метилированных опилках в ходе процесса практически не менялось. Скорость окисления метилированного лигнина ( $2,6 \pm 0,4 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ), выраженная через константу скорости реакции первого порядка, в 5,3 раза меньше скорости окисления нативного лигнина ( $13,7 \pm 0,2 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ). Это свидетельствует о том, что при окислительном аммонолизе древесины реакционная способность гидроксилсодержащих фрагментов лигнина значительно выше, чем структурных элементов, имеющих простые эфирные связи. Вывод о довольно высокой устойчивости простых эфирных связей подтверждается также и тем, что содержание метоксильных групп в метилированных опилках мало меняется в ходе процесса. Так, если после часового окисления метоксильные группы в нерастворившемся продукте составляли 27,7 %, то после шестичасового окисления их количество было равно 27,2 %.

Полученные результаты показали, что окислительная деструкция лигнина, в основном, обеспечивается участием в окислении гидроксилсодержащих функциональных групп. В отсутствие гидроксильных групп окисление хотя и сильно замедляется, но не совсем прекращается (рис. 1). По-видимому, окислительные превращения метилированного лигнина протекают с участием карбонилсодержащих структур, причем

с кислородом реагируют не только альдегидные, но и кетонные группы. Хотя кетонные группы и являются более устойчивыми к окислению, чем альдегидные [2], малая концентрация последних [3], по-видимому, не может обеспечить накопления достаточного для растворения лигнина числа гидрофильных групп.

Кроме этого, на реакции кислорода с кето-группами указывает также и накопление большого количества в древесном остатке (до 7,4 %) экстрактивных веществ (см. табл.), которые являются продуктами частичной деструкции лигнина. Содержание в экстрактивных веществах продуктов распада полисахаридов, по-видимому, можно исключить, если учесть хорошую растворимость моносахаридов и их метиловых эфиров в воде [6]. Малая скорость окисления метилированного лигнина связана со сравнительно невысокой концентрацией карбонильных групп в макромолекуле.

Как и следовало ожидать, количество потребленного кислорода и выход конечного продукта окисления — диоксида углерода — при окислительном аммонолизе метилированных опилок ниже, чем в случае окисления неметилированного субстрата (см. табл.) Однако скорость расходования кислорода при окислении первоначально необработанной древесины ( $0,95 \pm 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ), выраженная через константу скорости реакции первого порядка, лишь в 2,8 раза выше скорости потребления кислорода метилированным образцом ( $0,34 \pm 0,09 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ). Отличие между отношениями скоростей растворения лигнина и потребления кислорода при окислении метилированных и неметилированных опилок объясняется дополнительным потреблением кислорода в случае, связанном с окислением углеводов.

В отличие от лигнина окисление полисахаридов после обработки древесины диметилсульфатом ускоряется (рис. 2). Лишь в начальный период окислительного аммонолиза скорость растворения полисахаридов неметилированного субстрата выше, чем метилированного образца, что связано с удалением из древесного комплекса водорастворимых компонентов, которые в метилированных опилках были удалены во время предварительной обработки. Принимая скорости окисления полисахаридов в метилированном и в неметилированном (после 2 ч) образцах постоянными, нетруд-

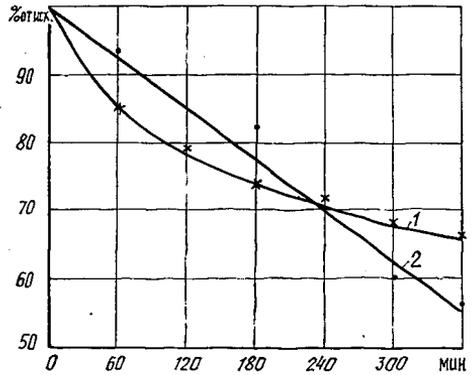


Рис. 1. Кинетические кривые растворения лигнина при окислительном аммонолизе предварительно необработанных (1) и метилированных (2) опилок

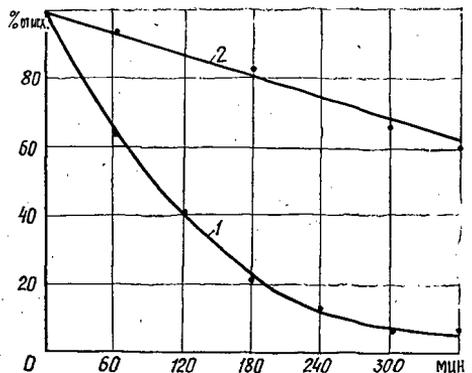


Рис. 2. Кинетические кривые растворения полисахаридов при окислительном аммонолизе предварительно необработанных (1) и метилированных (2) опилок

но определить, что предварительная обработка еловых опилок диметилсульфатом приводит к увеличению скорости окислительной деструкции углеводов примерно в 2,5 раза.

Меньшая устойчивость полисахаридов метилированной древесины к окислению обусловлена отсутствием в системе фенольных соединений (лигнина и продуктов его деструкции), выполняющих при окислении немодифицированной древесины роль ингибиторов окислительной деструкции целлюлозы. Снижение устойчивости полисахаридов к окислению — косвенное подтверждение незначительной роли реакций, приводящих к расщеплению простых эфирных связей, поскольку протекание таких реакций должно сопровождаться образованием фенольных соединений. Однако повышение реакционной способности метилированных углеводов, вероятно, отчасти связано и с повышением их доступности к действию окислителя. Тем не менее, представляем, что большее влияние на реакционную способность углеводов оказывают химические факторы, поскольку сравнительно невысокое, как уже отмечалось, снижение скорости потребления кислорода, а также довольно заметное количество образующегося в ходе процесса диоксида углерода (см. табл.) свидетельствуют о значительном развитии реакций окисления непосредственно в растворе.

Итак, рассмотренные данные показывают, что основные реакционные центры лигнина, обеспечивающие его деструкцию в ходе окислительного аммонолиза, — гидроксилсодержащие функциональные группы, суммарная скорость окисления которых примерно в пять раз выше, чем всех других функциональных групп.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Дейнеко И. П., Никольский С. Н., Зарубин М. Я. О количественном определении расхода кислорода при кислородной варке // Химия древесины. — 1983. — № 1. — С. 54—57. [2]. Денисов Е. Т., Мицкевич Н. И., Агабеков В. Е. Механизм жидкофазного окисления кислородсодержащих соединений. — Минск: Наука и техника, 1975. — 336 с. [3]. Закис Г. Ф. Функциональный анализ лигнинов и их производных. — Рига: Зинатне, 1987. — 230 с. [4]. Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А. В. Оболенская, В. П. Щеголев, Г. Л. Аким и др. — М.: Лесн. пром-сть, 1965. — 411 с. [5]. Сарканен К. В., Людвиг К. Х. Лигнины. — М.: Лесн. пром-сть, 1975. — 632 с. [6]. Beilsteins Handbuch der Organischen Chemie. B. 1. — Berlin, 1918. — 982 s.

Поступила 8 августа 1988 г.

УДК 676.481

### ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СУБСТРАТА С ВОДОЙ РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

Б. П. ЕРЫХОВ, М. Г. КРЫМЕР, А. С. ГОЛОВҚОВ,  
А. В. МОРЕВ, М. А. ПИЛИЯ

Ленинградская лесотехническая академия

В народном хозяйстве широко применяют высокоскоростные системы автоматизированного поиска и обработки информации. Отображение и малотиражное размножение необходимой информации осуществляют на материале-носителе — специальной электрографической бумаге.

Электрографическая бумага — это целлюлозный композиционный материал, состоящий из целлюлозного субстрата и ряда функциональных слоев: наружного (наличие которого обуславливает специфические эксплуатационные свойства бумаги и область ее применения) и про-

межуточного электропроводного, обеспечивающего движения носителей зарядов [4]. Работоспособность бумаги, используемой в качестве носителя информации в электрографическом процессе того или иного типа, обеспечивается наличием соответствующего комплекса электрофизических показателей.

Общее требование для всех видов электрографической бумаги — наличие поверхностной электропроводности у бумаги-основы, на которую наносят наружный функциональный слой. Бумага-основа представляет собой целлюлозный субстрат с нанесенным на него электропроводным слоем. Специальная обработка целлюлозного субстрата с целью придания ему требуемой электропроводности вызвана тем, что его электропроводность недостаточна для использования в качестве бумаги-основы.

При умеренных требованиях к электропроводности бумаги-основы широко используют технологию, включающую обработку целлюлозного субстрата электропроводными составами, создающими электропроводность ионного типа.

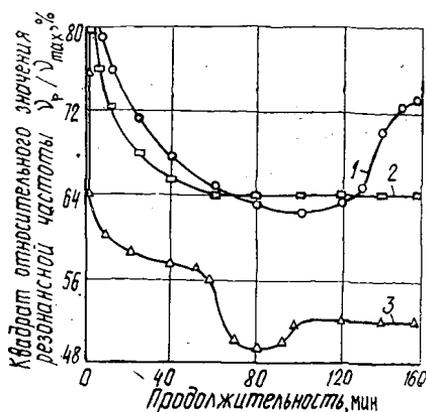
Наиболее распространенный в практике вариант технологии изготовления электропроводной бумаги-основы включает стадию нанесения на клеильном прессе бумагоделательной машины электропроводного покрытия, основным компонентом которого является полиэлектролит. Используемый при этом целлюлозный субстрат должен обладать рядом физико-механических свойств, обеспечивающих как безобрывное его прохождение через клеильный пресс, так и благоприятные условия для формирования электропроводных покрытий на его поверхности [3]. Поскольку на субстрат наносят водные растворы полиэлектролита, происходит изменение его физико-механических свойств, обусловленное взаимодействием его как с водой, так и с полиэлектролитом.

Изменение свойств целлюлозного субстрата при взаимодействии с водой фиксировали измерением резонансной частоты с помощью установки для резонансного метода определения модуля сдвига целлюлозно-бумажных и пленочных материалов (УРОМС) [1].

Объектами исследования были взяты следующие образцы целлюлозного субстрата, изготовленные на бумагоделательной машине ЦНИИБ: 1) массой  $75 \pm 3$  г/м<sup>2</sup> при степени помола 40 °ШР, проклеенные канифольным клеем (1,5 % к массе волокна, степень проклейки 1,8 мм); 2) массой  $75 \pm 3$  г/м<sup>2</sup> при степени помола 25 °ШР, непроклеенные; 3) массой  $16 \pm 0,5$  г/м<sup>2</sup> при степени помола 90 °ШР, непроклеенные.

Композиционный состав целлюлозных субстратов был выбран на основании практического опыта изготовления электропроводной бумаги-основы на бумажной фабрике им. Ю. Янониса с электропроводным покрытием из четвертичного аммониевого полиэлектролита и включал в себя беленые хвойные сульфитную и сульфатную целлюлозы при их соотношении 70 и 30 % соответственно.

Кинетика структурных изменений целлюлозных субстратов при взаимодействии с водой: 1 — для непроклеенного массой  $16 \pm 0,5$  г/м<sup>2</sup> ( $\nu_{p\max} = 180$  Гц); 2 — для проклеенного массой  $75 \pm 3$  г/м<sup>2</sup> ( $\nu_{p\max} = 470$  Гц); 3 — для непроклеенного массой  $75 \pm 3$  г/м<sup>2</sup> ( $\nu_{p\max} = 420$  Гц)



Испытания проводили следующим образом: образец целлюлозного субстрата неподвижно закрепляли в УРОМСе (радиус нижнего подвижного кольца минимален), измеряли резонансную частоту  $\nu_{\text{max}}$ , затем в течение 1 мин осуществляли увлажнение образца непосредственным контактом с водой, поданной в измерительный цилиндр. При таком кратковременном увлажнении моделируется процесс обработки целлюлозного субстрата в клеильном прессе бумагоделательной машины. Затем воду сливали из измерительного цилиндра и УРОМСа, а измерения резонансной частоты  $\nu_r$  фиксировали во времени. При проведении измерений прибор не открывали и положение закрепленного образца не изменяли. Все измерения проводили при комнатной температуре и 33 %-й относительной влажности окружающего воздуха.

На рисунке показана кинетика структурных изменений целлюлозных субстратов при взаимодействии с водой.

Как видно из данных, представленных на рисунке, диффузия воды в целлюлозный субстрат приводит к нарушению связей между макромолекулами целлюлозы, что выражается в изменении резонансной частоты. В меньшей мере структурным изменениям подвержен проклеенный целлюлозный субстрат, имеющий наиболее плотную упаковку структурных элементов, достигаемую за счет повышения степени помола (кривые 1, 2).

Особенности взаимодействия проклеенного целлюлозного субстрата с водой (кривая 2) заключаются в том, что клей выступает в роли армирующего элемента и с водой не взаимодействует. В то же время нарушаются водородные связи между макромолекулами целлюлозы и связи волокно — канифольный клей [2]; прочность материала снижается, что выражается в наблюдаемом уменьшении резонансной частоты. Из-за затруднения диффузии молекул воды в такой субстрат замедляется достижение высокой сегментальной подвижности макромолекул целлюлозы, требуемой для осуществления процесса кооперативной перестройки и образования новой, наиболее выгодной в таких условиях структуры. Так, стабилизация резонансной частоты для проклеенного целлюлозного субстрата достигается через 60 мин после увлажнения.

Повышение степени помола обуславливает торможение процесса перестройки (кривая 1) (за счет увеличения сопротивления диффузии молекул воды в структурные элементы субстрата), связанное с возрастанием плотности их упаковки и уменьшением эффективного диаметра пор [2].

При проникновении влаги вглубь субстрата вследствие малой величины и высокой разработанности отдельных волокон целлюлозы повышается их подвижность и возможность кооперативной перестройки с образованием новой структуры. Через 90 мин после увлажнения заканчивается образование такой структуры, которая сохраняет свои свойства в течение 30 мин. Наблюдаемый дальнейший рост резонансной частоты свидетельствует о том, что в таких условиях материал начинает высыхать, образуется новая структура с более плотной упаковкой макромолекул целлюлозы, характеризующаяся появлением значительного числа ориентированных связей между структурными элементами субстрата.

Для непроклеенного целлюлозного субстрата с низкой степенью помола при взаимодействии с водой наблюдается наиболее значительное уменьшение резонансной частоты (кривая 3), стабилизация которой происходит через 110 мин. Это обусловлено рыхлой структурой материала и его большой впитывающей способностью, позволяющими адсорбировать значительное количество воды. Облачный просвет целлюлозного субстрата приводит к тому, что кооперативная перестройка происходит в два этапа: вначале в тонких местах, а затем в сгустках волокон, что на кривой выражается в наличии двух ступенек изменения резонансной частоты. Кооперативная перестройка в тонких местах за-

канчивается через 40 мин, а для ее завершения в сгустках волокон требуется еще 70 мин. Большую продолжительность процесса перестройки структуры материала можно объяснить тем, что подвижность макромолекул целлюлозы еще в большей мере затруднена, так как при такой степени помолы исходная морфология целлюлозного волокна и его длина нарушены незначительно.

Таким образом, кинетику взаимодействия целлюлозного субстрата с водой при наличии или отсутствии проклеивающего вещества, а также вариации геометрических параметров волокна и плотности их упаковки можно количественно оценить на одном и том же образце путем измерения высокочастотного модуля сдвига.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. ОСТ 13-163—83. Полуфабрикаты целлюлозно-бумажного производства. Резонансный метод определения модуля сдвига и добротности.— М.: Госстандарт, 1983.— 15 с. [2]. Папков С. П., Файнберг Э. З. Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой.— М.: Химия, 1976.— 186 с. [3]. Петров А. П. Поверхностная проклейка бумаги и картона.— М.: Лесн. пром-сть, 1975.— 224 с. [4]. Слуцкин А. А. Электростатическая фотография.— М.: Искусство, 1984.— 126 с.

Поступила 23 ноября 1987 г.

УДК 674.812.2

### МОДИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО СВЯЗУЮЩЕГО ТАЛЛОВОЙ КАНИФОЛЬЮ

С. Д. КАМЕНКОВ, И. А. ГАМОВА, Г. И. ЦАРЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Исследования, проведенные в Ленинградской лесотехнической академии, показали высокую эффективность применения композиционного связующего, состоящего из равных количеств карбамидоформальдегидной смолы КФ-МТ и фенолоспиртов марки «Б», для изготовления древесных прессовочных масс [2]. Однако такая композиция обладает определенной токсичностью.

Цель данной работы — снизить токсичность композиционного связующего. Основное вещество, определяющее токсичность связующего, — формальдегид, выделяющийся в процессе термообработки прессмассы и отверждения связующего.

Известно, что формальдегид легко реагирует с аминами и амидами [1, 3]. Соединения этих классов используют для снижения токсичности карбамидоформальдегидных смол [5]. Однако с ростом температуры равновесие реакции  $-R-NH_2 + CH_2O \rightleftharpoons -R-NHCH_2OH$  смещается в сторону образования исходных продуктов [1], что снижает эффективность связывания формальдегида этими соединениями в условиях горячего прессования.

Одно из перспективных направлений снижения выделения формальдегида при горячем прессовании прессмасс — связывание его соединениями, содержащими ненасыщенные двойные связи, по реакции Принса.

В качестве модификатора была выбрана талловая канифоль, являющаяся крупнотоннажным продуктом целлюлозно-бумажных комбинатов и представляющая собой смесь смоляных кислот, содержащих значительное количество сопряженных двойных связей. Кроме того, канифоль — эффективный пластификатор карбамидоформальдегидных смол [1], поэтому можно ожидать повышения прочностных характеристик и текучести прессмассы. В работе использовали талловую канифоль марки «Б», частично омыленную (ГОСТ 14201—73).

Токсичность связующего оценивали по количеству формальдегида, выделяющегося при термообработке прессмассы, в соответствии с методикой, изложенной в работе [7]. В круглодонную колбу емкостью 250 мл помещали навеску прессмассы около 25 г. В приемную колбу емкостью 50 мл наливали 10 мл дистиллированной воды, колбу помещали в стакан со льдом. Обе колбы соединяли между собой стеклянной трубкой, имеющей отвод для подключения к вакуум-наосу. В системе создавали небольшое разрежение, после чего колбу с прессмассой помещали в кипящую водяную баню. Отбор выделяющегося формальдегида проводили в течение 3 ч. Водный раствор формальдегида из приемной колбы переносили в колбу с притертой пробкой, добавляли 2 мл 1 н. сульфата натрия и 15—20 капель 0,1 %-го фенолфталеина. Раствор титровали 0,1 н. серной кислотой.

Расчет вели по формуле

$$X = \frac{(V_1 - V_2) 100 \cdot 0,003}{g}$$

где  $X$  — количество выделившегося формальдегида;  
 $V_1$  и  $V_2$  — объемы точно 0,1 н. раствора серной кислоты, пошедшего на титрование контрольного и рабочего растворов;  
 $g$  — навеска прессмассы.

Приготавливали прессмассу со следующим массовым содержанием, %: сухие безрезовые опилки — 65, композиционное связующее — 30, модификатор — 5. Талловую канифоль вводили в прессмассу в виде водной дисперсии 20 %-й концентрации.

Сравнительный анализ влияния ряда модификаторов на токсичность композиционного связующего и физико-механические свойства прессмассы (см. табл.) показал, что талловая канифоль позволяет более чем в 2 раза уменьшить выделение формальдегида при термообработке прессмассы и, в отличие от других модификаторов, улучшить ее физико-механические свойства.

Модификатор	Количество формальдегида, % · 10 <sup>-3</sup>	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Разрушающее напряжение при статическом изгибе, МПа	Водопоглощение за 24 ч, мг
Карбамид	0,7	1 260	67,7	193
Диэтиламин	1,2	1 300	64,4	176
Триэтиламин	0,7	1 310	70,4	139
Дициандиамид	0,9	1 320	72,6	163
Талловая канифоль	0,6	1 370	83,8	119
Без модификатора	1,4*	1 350	77,0	150
	2,4**	1 350	75,2	155

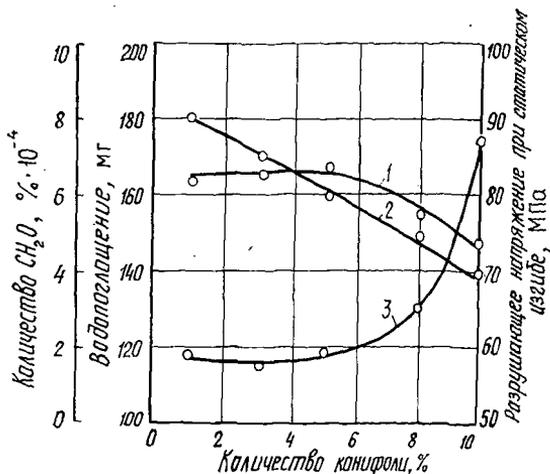
\* Прессмасса высушена при температуре 110 °С. \*\* Прессмасса высушена при 90 °С.

Для определения рационального количества модификатора приготавливали прессмассы, содержащие 1, 3, 5, 8 и 10 % талловой канифоли.

Влияние количества талловой канифоли на токсичность связующего и физико-механические свойства прессмасс представлены на рис. 1. Как видно из представленных данных, количество формальдегида, выделяющегося при термообработке, снижается с увеличением содержания в прессмассе талловой канифоли. При массовом содержании канифоли более 5 % снижаются показатели физико-механических свойств прессмассы. Следовательно, рациональное массовое содержание талловой канифоли в прессмассе — 5 %.

Известно, что сушку пресскомпозиций, содержащих карбамидоформальдегидные смолы, проводят при температурах, не превышающих 90 °С [4], что снижает производительность сушильных установок. Имеются сведения [6], что скорость конденсации формальдегида с канифолью увеличивается с повышением температуры. Поэтому мы исследуем

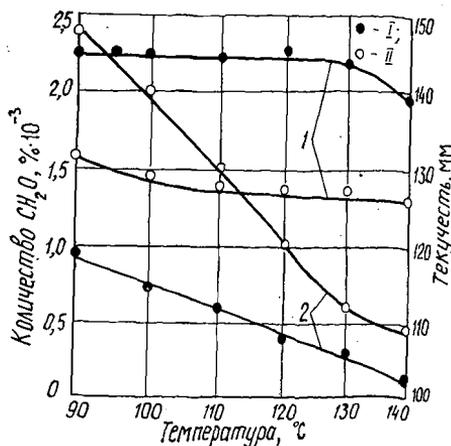
Рис. 1. Влияние количества талловой канифоли на выделение формальдегида при термообработке прессмассы и ее физико-механические свойства: 1 — разрушающее напряжение при статическом изгибе; 2 — количество формальдегида; 3 — водопоглощение за 24 ч



довали влияние температуры сушки на токсичность композиционного связующего и текучесть прессмассы.

Сушку прессмассы проводили при температуре сушильного агента в пределах от 90 до 140 °С до влажности 4 %. Текучесть прессмассы определяли по ГОСТ 11368—79 «Массы древесные прессовочные».

Рис. 2. Влияние температуры сушки на выделение формальдегида (2) при термообработке прессмассы и ее текучесть (1): I — прессмасса с модификатором; II — прессмасса без модификатора



Полученные результаты (рис. 2) свидетельствуют о том, что текучесть прессмассы при увеличении температуры сушки меняется незначительно. Однако введение в прессмассу талловой канифоли позволяет повысить ее текучесть со 130 до 145 мм. Увеличение температуры сушки приводит к значительному снижению выделения формальдегида при термообработке высушенной прессмассы. Введение талловой канифоли в прессмассу позволяет вдвое сократить выделение формальдегида, что значительно улучшает условия работы в цехе.

Анализ влияния температуры сушки на физико-механические свойства прессмассы (рис. 3) показывает, что повышение температуры выше 110 °С приводит к снижению прочностных показателей. Поэтому в качестве оптимальной следует рекомендовать температуру сушки 110 °С. Повышение текучести и прочностных показателей прессмассы, содержащей талловую канифоль, объясняется эластифицирующим влиянием смоляных кислот на композиционное связующее.

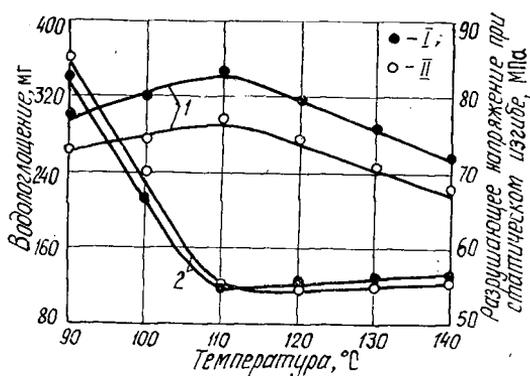


Рис. 3. Влияние температуры сушки на физико-механические свойства прессмассы: I — разрушающее напряжение при статическом изгибе; 2 — водопоглощение за 24 ч; I — прессмасса с модификатором; II — прессмасса без модификатора

Таким образом, введение в прессмассу талловой канифоли с массовым содержанием 5 % позволяет вдвое уменьшить количество формальдегида, выделяющегося при переработке прессмассы, повысить ее текучесть, улучшить физико-механические свойства.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вирпша З., Бжезинский Я. Аминопласты.— М.: Химия, 1973.— 343 с.  
 [2]. Гамова И. А., Каменков С. Д. Повышение качества композиционных материалов путем использования совмещенных олигомеров // Обзор, информ.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1987.— 40 с. [3]. Огородников С. К. Формальдегид.— Л.: Химия, 1984.— 280 с. [4]. Технология пластических масс / Под ред. В. В. Коршака.— М.: Химия, 1972.— 615 с. [5]. Эльберт А. А. Химическая технология древесностружечных плит.— М.: Лесн. пром-сть, 1984.— 224 с. [6]. Энгельгардт Г., Гранич К., Риттер К. Проклейка бумаги.— М.: Лесн. пром-сть, 1975.— 224 с. [7]. Chr̄is̄bensen R. L. Test for Measuring Formaldehyde Emission Particle Boards and Plywood // Forest Products Journal.— 1972.— 22.— P. 17—20.

Поступила 22 июля 1988 г.

УДК 630\*863.4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНВЕРСИИ ГИДРОЛИЗАТА ДРЕВЕСИНЫ В ПРИСУТСТВИИ АЗОТНОКИСЛЫХ И КОМПЛЕКСНЫХ СОЛЕЙ

Е. П. ШИШАКОВ, В. М. ШКУТ, Т. В. ЦЫКУНОВА, Ж. Ф. РУЧАЙ

Белорусский технологический институт

Гидролизаты растительного сырья всегда содержат некоторое количество не полностью прогидролизованых, растворимых в воде полисахаридов — олигосахаридов и декстринов. Большинство производственных штаммов микроорганизмов не усваивает декстрины и олигосахариды и поэтому они теряются для производства, загрязняя сточные воды гидролизных заводов. Для гидролиза олигосахаридов проводят операцию инверсии — выдерживание гидролизата при повышенной температуре. Инверсию проводят при атмосферном давлении и температуре 98...102 °C в течение 5...8 ч [4] либо при давлении 0,3...0,6 МПа и температуре 130...160 °C в течение 10...30 мин [2]. В процессе инверсии из гидролизата выпадает смола, которая под действием кислой среды и повышенной температуры превращается в монолитную массу, забивающую технологическое оборудование, причем количество смолы и ее твердость увеличиваются с ростом температуры.

В настоящей работе исследовано влияние азотнокислых и комплексных солей на процесс инверсии.

Использовали азотнокислые соли калия, аммония, кальция, а также нитрофос, нитроаммофос и нитроаммофоску при дозировке  $1 \dots 8$  г/дм<sup>3</sup> гидролизата. Вид солей и их количество определяли потребностью микроорганизмов в минеральных элементах при дальнейшей биохимической переработке гидролизатов: производстве кормовых дрожжей, этилового спирта, липидов [5, 6, 8].

Промышленные образцы гидролизата смеси хвойных и лиственных пород древесины, отобранные непосредственно с производственного потока Речяцкого гидролизного завода, нагревали до кипения, вносили навеску соли и кипятили с обратным холодильником в течение  $6 \dots 8$  ч. В ходе процесса инверсии с интервалом  $15 \dots 60$  мин отбирали пробы гидролизата, быстро охлаждали их проточной водой и анализировали. В гидролизате определяли суммарное содержание сахаров [3], минеральной и органической кислотности по отраслевой методике, а также проводили углубленный анализ на содержание индивидуальных сахаров, лигногуминовых веществ [1], легколетучих компонентов [7], муравьиной и уксусной кислот.

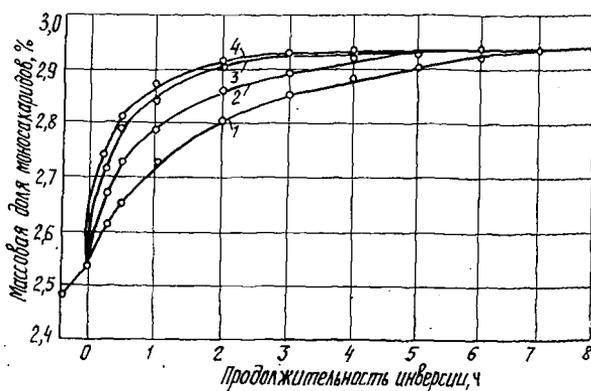


Рис. 1. Изменение содержания моносахаридов в процессе инверсии гидролизата при внесении азотнокислого аммония: 1 — без добавки соли; 2, 3, 4 — дозировка соли соответственно 0,025; 0,050; 0,100 моль/л

Изменение суммарного содержания моносахаридов в гидролизате при внесении азотнокислого аммония показано на рис. 1.

Таблица 1

Моносахарид	Массовая доля моносахаридов в гидролизате, %			
	до инверсии	при инверсии		
		в отсутствии солей	в присутствии $KNO_3$	в присутствии $NH_4NO_3$
Арабиноза	0,063	0,087	0,078	0,082
Ксилоза	0,432	0,604	0,592	0,620
Манноза	0,319	0,478	0,502	0,486
Глюкоза	1,564	1,578	1,590	1,604
Галактоза	0,145	0,156	0,151	0,147
Суммарное содержание	2,523	2,903	2,923	2,939

Аналогичная зависимость получена при использовании азотнокислых солей калия и кальция. Азотнокислые соли значительно интенсифицируют гидролиз декстринов и олигосахаридов. С увеличением дозировки соли скорость реакции возрастает, а приведенный коэффициент

активности катализатора снижается, что является, вероятно, следствием неоднородности олигосахаридов и декстринов.

В табл. 1 приведены данные о содержании индивидуальных моносахаридов в исходном и проинвертированных гидролизатах, полученных в отсутствие и присутствии растворов азотнокислого калия или аммония с молярной концентрацией  $0,05 \text{ моль/дм}^3$ , а также по стандартной технологии при длительности инверсии 8 ч. Вне зависимости от катализатора количество глюкозы и галактозы в гидролизатах практически не изменилось, а содержание ксилозы, маннозы и арабинозы, являющихся основными компонентами гемицеллюлоз древесины, значительно возросло. Содержание индивидуальных сахаров в проинвертированном гидролизате при внесении и в отсутствие солей не изменилось, что говорит об их устойчивости в указанных условиях.

Контрольными опытами по нагреванию модельных растворов, содержащих глюкозу или ксилозу, а также микрокалориметрическими измерениями подтверждено, что моносахариды при этих условиях не разлагаются.

В процессе инверсии происходит разложение некоторых компонентов гидролизата, главным образом, лигногуминовых веществ, с образованием органических кислот, спиртов, альдегидов, кетонов и их производных. В присутствии азотнокислых солей процесс этот усиливается.

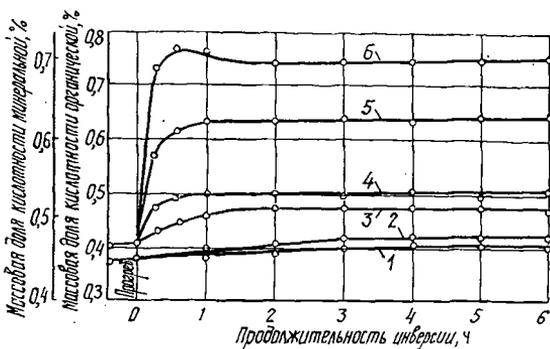


Рис. 2. Изменение кислотности гидролизата при внесении азотнокислого аммония: 1 — кислотность минеральная без добавки соли; 2 — то же органическая; 3 — минеральная при внесении  $0,100 \text{ М NH}_4\text{NO}_3$ ; 4, 5, 6 — органическая при внесении  $0,025$ ;  $0,050$ ;  $0,100 \text{ М NH}_4\text{NO}_3$  соответственно

На рис. 2 показано изменение содержания минеральной (в пересчете на серную) и органической (в пересчете на уксусную) кислотности гидролизата в процессе инверсии по стандартной технологии в отсутствие и присутствии азотнокислого аммония с молярной концентрацией  $0,025 \dots 0,1 \text{ моль/дм}^3$ . Количество сильных (минеральных) кислот увеличивается незначительно, а слабых (органических) возрастает в 1,2—1,8 раза, рН гидролизата снижается на  $0,1 \dots 0,2$  ед. Реакция образования кислот протекает достаточно быстро и заканчивается в течение  $0,5 \dots 1,5$  ч. Хроматографическим анализом установлено, что образующиеся кислоты состоят из муравьиной ( $15 \dots 20 \%$ ), уксусной ( $8 \dots 12 \%$ ) и высших нелетучих кислот не установленного строения.

На рис. 3 показано изменение содержания легколетучих компонентов гидролизата в процессе инверсии по стандартной технологии и в присутствии раствора азотнокислого калия и аммония с молярной концентрацией  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ . Содержание большинства легколетучих компонентов в процессе инверсии увеличивается как в присутствии, так и в отсутствие солей.

Содержание метиловых эфиров муравьиной, уксусной и пропионовой кислот значительно возрастает в течение первых 4 ч, затем скорость их образования уменьшается, и по истечении  $5 \dots 6$  ч их содержание стабилизируется. Это явление связано, вероятно, с установле-

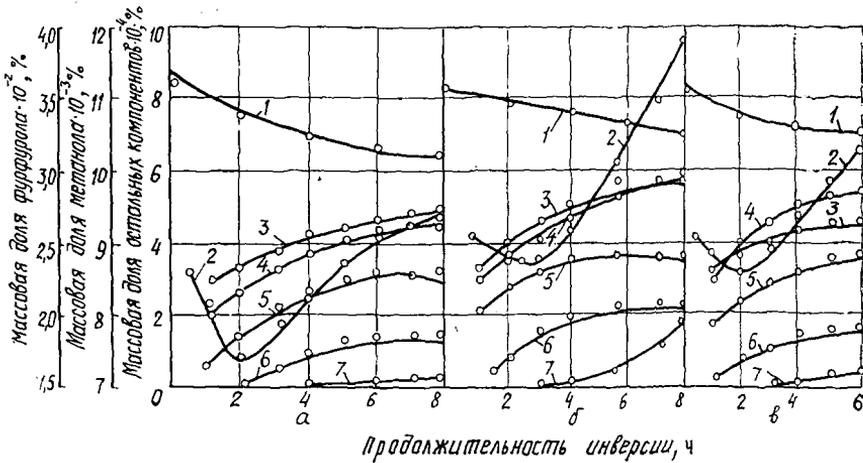


Рис. 3. Изменение содержания легколетучих компонентов гидролизата в процессе инверсии: а — без солей; б —  $\text{KNO}_3$ ; в —  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 1 — фурфурол; 2 — метиловый спирт; 3 — уксусный альдегид; 4 — метилформат; 5 — метилацетат; 6 — метилпропионат; 7 — диацетил

нием равновесия между свободными кислотами и их метиловыми эфирами. Содержание метилового спирта имеет характерный экстремум, особенно ярко выраженный при инверсии в отсутствие солей. В течение первых 2 ч в отсутствие солей массовое содержание метилового спирта снижается от  $8,5 \cdot 10^{-3}$  до  $7,4 \cdot 10^{-3}$  %, через 7 ч повышается до  $9,3 \cdot 10^{-3}$  % и стабилизируется на этом уровне. В присутствии азотнокислого калия с молярной концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup> массовое содержание метилового спирта через 2 ч снижается до  $8,8 \cdot 10^{-3}$  %, а затем неуклонно возрастает и через 8 ч достигает  $11,8 \cdot 10^{-3}$  %.

Это явление обусловлено двумя одновременно протекающими группами реакций: этиризацией низших жирных кислот с образованием сложных эфиров, с одной стороны, и гидролизом гемицеллюлоз и деметоксилированием лигнина и уроновых кислот с выделением свободного метанола, с другой стороны. При достижении равновесия концент-

Таблица 2

Соль	Массовая концентрация, г/дм <sup>3</sup>		
	соли	лигно-гуминовых веществ	шламовых осадков
Азотнокислый калий	0,5	2,845	2,580
	1,5	2,687	2,418
	2,5	2,576	2,396
	3,0	2,348	2,280
Азотнокислый аммоний	1,0	2,720	2,574
	2,0	2,564	2,520
	4,0	2,376	2,475
	6,0	2,261	2,380
Азотнокислый кальций	3,0	2,634	3,410
	5,0	2,091	2,390
Нитроаммофос	1,0	2,785	2,570
	3,0	2,314	2,411
	5,0	2,091	2,390
Контроль (без солей)	—	2,935	3,372

рация метанола стабилизируется. Продолжающееся возрастание содержания метилового спирта в гидролизате в присутствии азотнокислых солей связано с деметоксилированием и окислением лигнина под действием азотной кислоты, образующейся в результате реакции обмена между солями и серной кислотой.

Нарастание содержания уксусного альдегида, являющегося продуктом окисления лигнина, подтверждает это предположение. После 4 ч инверсии в гидролизате появляется диацетил, количество которого затем значительно возрастает, особенно в присутствии солей. Содержание фурфурола в ходе процесса инверсии снижается, что связано с его распадом в условиях повышенной температуры и кислой среды.

Использование азотнокислых и комплексных солей, вызывающих деструкцию лигногуминовых веществ гидролизата (содержащих необходимые биогенные элементы и малое количество шлама), позволяет уменьшить количество шламовых осадков, образующихся при подготовке гидролизата к его последующей биохимической переработке. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таким образом, внесение азотнокислых и комплексных солей на стадии инверсии гидролизата увеличивает скорость гидролиза олигосахаридов и декстринов, не разрушая сахара, вызывает окисление лигногуминовых веществ с образованием органических кислот, спиртов, альдегидов, кетонов и их производных, уменьшает количество шламовых осадков, образующихся при подготовке гидролизата к его последующей биохимической подготовке.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Корольков И. И., Лихонос Е. Ф., Парамонова Г. Д. Определенные количества лигногуминовых веществ в гидролизатах // Гидролиз. и лесохим. пром-сть.— 1967.— № 1.— С. 8—10. [2]. Корольков И. И., Лихонос Е. Ф., Степанова И. Н. Исследование инверсии гидролизатов при повышенных температурах // Гидролиз. пр-во.— 1971.— № 3.— С. 15—16. [3]. Костенко В. Г. Газохроматографический анализ сред гидролизного производства на содержание индивидуальных моносахаров // Гидролиз. и лесохим. пром-сть.— 1977.— № 5.— С. 11—13. [4]. Лихонос Е. Ф., Корольков И. И. Исследование инверсии древесных гидролизатов // Гидролиз. и лесохим. пром-сть.— 1965.— № 6.— С. 3—4. [5]. Малхасьян С. С., Гаврилова Н. Н., Карпов В. А. Влияние азотного и углеродного питания на рост и липидобразующую способность дрожжей *Candida guilliermondii* НП-2 // Микробиол. пром-сть.— 1982.— № 5.— С. 2—4. [6]. Новаковская С. С., Шишацкий Ю. И. Справочник по производству хлебопекарных дрожжей.— М.: Пищевая пром-сть, 1968.— 375 с. [7]. Холькин Ю. И. Хроматография в химии древесины.— М.: Лесн. пром-сть.— 1976.— 288 с. [8]. Хотянович А. В., Веденеева Н. А., Кубарева З. И. Содержание и перевариваемость белка в кормовых дрожжах при выращивании их на различных источниках углевода и азота // Прикладная биохимия и микробиология.— 1972.— Т. 7.— Вып. 2.— С. 186—190.

Поступила 19 августа 1988 г.

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 684 : 331

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ РУЧНОГО ТРУДА  
ДЛЯ МЕБЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВПО СЕВЗАПМЕБЕЛЬ**

Л. Б. ИВАНОВ, И. В. ГЕЛЬМАН, И. И. ИСАЕВА,  
Т. А. ШАГАЛОВА

Ленинградская лесотехническая академия

В условиях радикальной интенсификации экономики на основе нового хозяйственного механизма рост производительности труда (ПТ) в значительной степени определяется планомерным сокращением применения ручного малоквалифицированного труда. Обоснованное управление этим процессом возможно на базе статистического моделирования зависимости удельных затрат ручного труда (УЗРТ) от факторов роста ПТ. Уравнения регрессии, выражающие такую зависимость, позволяют выявить показатели, изменение которых одновременно направлено на рост ПТ и снижение УЗРТ. С другой стороны, они дают возможность рассчитать варианты поэтапного изменения УЗРТ и прогнозировать оптимальные значения этого показателя.

Основная цель настоящей статьи — прогнозирование оптимальных значений УЗРТ в 1990 г. для группы мебельных предприятий ВПО Севзапмебель: одного деревообрабатывающего комбината (ДОК), шести мебельных комбинатов (МК) и четырех мебельных фабрик (МФ).

Численные значения УЗРТ ( $y$ ) равны отношению числа рабочих, выполняющих работу вручную при механизмах и машинах и без них, к общей численности промышленных рабочих и выражаются в долях единицы.

Система показателей роста ПТ для мебельных предприятий формируется переменными:

- $x_1$  — коэффициент выбытия активной части основных производственных фондов (ОПФ);
- $x_2$  — коэффициент годности активной части ОПФ;
- $x_3$  — электровооруженность труда, тыс. кВт · ч/чел. в год;
- $x_4$  — коэффициент интенсивности использования активной части ОПФ;
- $x_5$  — коэффициент прироста активной части ОПФ;
- $x_6$  — техническая вооруженность труда, тыс. р./чел. в год;
- $x_7$  — средний разряд работ;
- $x_8$  — коэффициент специализации;
- $x_9$  — материалоотдача;
- $x_{10}$  — доля стоимости машин и механизмов в общей стоимости ОПФ.

Статистическая совокупность данных по всем показателям  $x_1, \dots, x_{10}$ ,  $y$  была сформирована на основе статистической отчетности 11 мебельных предприятий за 1983—1986 гг. В пределах всей совокупности результативный признак  $y$  менялся в диапазоне  $0,17 \leq y \leq 0,62$ . Для достижения качественной однородности полученные 44 объекта статистических наблюдений были расчленены на группы по результативному признаку  $y$ : 1 — при  $0,17 \leq y \leq 0,28$ ; 2 — при  $0,28 < y \leq 0,33$ ; 3 — при  $0,33 < y \leq 0,40$ ; 4 — при  $0,40 < y \leq 0,62$ . Дополнительно по признаку электровооруженности труда  $x_3$  в группу 2 входят объекты с

$4,33 \leq x_3 \leq 9,22$ ; в группу 3 с  $13,45 \leq x_3 \leq 16,28$ . Количество объектов статистических наблюдений в этих группах — 10, 16, 10 и 8, соответственно.

Для каждой из групп на основе имитационных экспериментов были построены статистически оптимальные варианты зависимостей  $y$  от двух или трех переменных из множества  $x_1, \dots, x_{10}$ . Схема статистического анализа описана нами ранее [1, 2].

Среди статистически оптимальных региональных моделей были отобраны варианты, предлагаемые индивидуальным предприятиям. В качестве критерия пригодности, как и в работе [1], использовали неравенство:

$$|y - \hat{y}| \leq 0,02,$$

где  $y$  — фактическое значение УЗРТ для данного предприятия в 1986 г.;

$\hat{y}$  — расчетное значение по испытываемому варианту модели.

Общее число статистически оптимальных вариантов моделей оказалось равным 33. Не приводя, ввиду недостатка места, соответствующих уравнений, отметим, что эти результаты дополняют и уточняют аналогичные результаты, полученные при меньшем числе статистических наблюдений [1]. Заметим также, что число моделей, предлагаемых фиксированному предприятию, не превышало 6.

Прогнозирование значений УЗРТ в 1990 г. для каждого индивидуального предприятия выполняли на основе моделей.

В каждой из четырех групп статистических наблюдений наборы  $x_1, \dots, x_{10}, y$  были занумерованы в порядке убывания  $y$  номерами  $x$ , начиная с  $x = 1$ , и переменные  $x_1, \dots, x_{10}$  выражались как функции номера  $x$ . Пусть для некоторого предприятия набору показателей  $x_1, \dots, x_{10}, y$  в 1986 г. соответствует номер  $x = x^0$ . Подставляя последовательно  $x = x^0, x = x^0 + 1, \dots$  в формулы, выражающие переменные  $x_i$  через  $x$ , из уравнения предлагаемой модели находим вариант прогнозируемых значений  $y$  (1986),  $y$  (1987), ... Прогнозируемые значения  $y$  можно считать приемлемыми, если они не выходят за пределы того диапазона изменения  $y$ , для которого построена предлагаемая модель. Если на каком-нибудь шаге получено значение  $y$ , переходящее в соседний диапазон, то дальнейшие расчеты должны проводиться по моделям нового диапазона.

Оптимальным прогнозируемым значением  $y$  (1990) для данного предприятия естественно считать наименьшее из значений  $y$  (1990), найденных в результате расчетов по всем допустимым для этого предприятия вариантам.

Чтобы проиллюстрировать предложенный метод прогнозирования, приведем расчет прогнозируемых значений УЗРТ для Ленинградского МК № 1.

Отметим вначале, что набор показателей  $x_1, \dots, x_{10}, y$  для Ленинградского МК № 1 в 1986 г. принадлежит группе объектов статистических наблюдений, для которых  $0,33 \leq y \leq 0,40$  и  $13,45 \leq x_3 \leq 16,28$ . Ему соответствует в этой группе номер  $x^0 = 10$ . Предлагаемыми для Ленинградского МК № 1 моделями являются:

$$y = 4,663x_3^{-1} + 0,350x_6^{-1}; \quad (1)$$

$$\lg y = -0,313 \lg x_3 - 0,055 \lg x_6 + 0,171 \lg x_8; \quad (2)$$

$$\lg y = -0,295 \lg x_3 - 0,071 \lg x_6 - 0,139 \lg x_9; \quad (3)$$

$$y = 1,079x_6^{-1} + 0,107x_{10}^{-1}. \quad (4)$$

Входящие в уравнения (1)–(4) переменные  $x_3, x_6, x_8, x_9, x_{10}$  выражаются через номера  $x$  объектов статистических наблюдений формулами:

$$x_3 = 14,009 + 0,128x; \quad x_6 = 4,816 + 0,393x; \quad x_8 = 0,975 - 0,031x;$$

$$x_9 = 1,251 + 0,059x; \quad x_{10} = 0,558 + 0,003x.$$

Полагая в этих формулах последовательно  $x = 10, 11, 12, 13, 14$  и подставляя в уравнения (1)–(3) значения  $x_i$ , получаем варианты прогнозов УЗРТ для Ленинградского МК № 1 в 1986–1990 гг. по моделям (1), (2), (3), соответственно. Они помещены в табл. 1.

Таблица 1

Прогнозируемые значения УЗРТ	1986	1987	1988	1989	1990
$y_1$	0,345	0,340	0,336	0,333	0,330
$y_2$	0,353	0,348	0,343	0,338	0,334
$y_3$	0,359	0,348	0,345	0,345	0,338

Все значения  $y$  не выходят за пределы диапазона  $0,33 \leq y \leq 0,40$ .

Применение модели (4) требует перехода в соседний диапазон. Действительно, пользуясь моделью (4), при  $x = 10$  получаем  $y(1986) = 0,305$ . Значит, дальнейшие вычисления должны проводиться по моделям, относящимся к диапазону  $0,28 < y \leq 0,39$  и  $4,33 \leq x_3 \leq 9,22$ . Покажем, какие из них следует принять в качестве предлагаемых.

Сначала, исходя из расчетного значения  $y = 0,305$ , находим такое предприятие и год, для которых фактический набор показателей ближе всего к расчетному. В нашем примере выясняется, что таковым является набор показателей Охтинского ДОК в 1985 г. В диапазоне  $0,28 < y \leq 0,39$  и  $4,33 \leq x_3 \leq 9,22$  ему соответствует номер  $x = 13$ . В связи с этим принимаем, что и расчетная реализация в новом диапазоне определяется номером  $x = 13$ . Далее рассматриваются все статистически оптимальные модели и формулы, выражающие  $x_k$  через  $x$  для нового диапазона. Вычислив расчетные значения  $y_i$  по каждой из них при  $x = 13$ , получаем:  $\hat{y}_1 = 0,440$ ;  $\hat{y}_2 = 0,482$ ;  $\hat{y}_3 = 0,556$ ;  $\hat{y}_4 = 0,611$ ;  $\hat{y}_5 = 0,417$ ;  $\hat{y}_6 = 0,448$ ;  $\hat{y}_7 = 0,280$ ;  $\hat{y}_8 = 0,308$ . Сравнивая  $\hat{y}_i$  с расчетным значением  $y = 0,305$ , заключаем, что неравенству  $|y_i - y| \leq 0,02$  удовлетворяет только  $\hat{y}_8$ . Поэтому, отправляясь от значений  $y(1986) = 0,305$  и  $x = 13$ , мы считаем предлагаемой для дальнейших расчетов только модель № 8 из набора статистически оптимальных моделей диапазона  $0,28 < y \leq 0,39$ ;  $4,33 \leq x_3 \leq 9,22$ . Уравнение регрессии этой модели имеет вид

$$\lg y = -0,661 \lg x_3 - 0,127 \lg x_{10},$$

а переменные  $x_3, x_{10}$  выражаются через  $x$  равенствами

$$x_3 = 5,122 + 0,170x; \quad x_{10} = 0,356 - 0,002x.$$

Полагая здесь  $x = 14, 15, 16, 17$  и принимая во внимание вычисленное выше значение  $y(1986) = 0,305$ , получаем следующий вариант прогноза:

$$y(1986) = 0,305; \quad y(1987) = 0,303; \quad y(1988) = 0,299;$$

$$y(1989) = 0,295; \quad y(1990) = 0,292.$$

Сравнивая этот вариант с вариантами табл. 1, заключаем, что он оптимален.

Аналогичные расчеты выполнены для всех изучавшихся в этой работе мебельных предприятий ВПО Севзапмебель. Результаты вычислений и их сравнение с фактическими значениями УЗРТ в 1986 г. приведены в табл. 2.

Таблица 2

Предприятие	Фактическое значение УЗРТ в 1986 г.	Оптимальный прогноз УЗРТ на 1990 г.
Ломоносовская МФ	0,57	0,36
Новгородский МК	0,40	0,35
Невельская МФ	0,38	0,34
Фабрика мягкой мебели	0,37	0,32
МК «Ладога»	0,36	0,31
Ленинградский МК № 1	0,36	0,29
Охотинский ДОК	0,30	0,21
МК «Великие Луки»	0,29	0,19
Боровичская МФ	0,25	0,16
Гатчинский МК	0,19	0,14
Псковский МК	0,17	0,12

Интервал достоверности прогнозов зависит от объема исходной информации, используемой для построения моделей. В основе применяемого в данной работе метода прогнозирования лежит процедура перехода в соседние диапазоны. Такой переход связан с изменением набора моделей, т. е. использованием новой статистической информации. Значит, при каждом переходе продлевается интервал достоверности прогноза. Это позволит в дальнейшем использовать предложенный метод для построения долгосрочных прогнозов.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Анализ удельных затрат ручного труда на мебельных предприятиях ВПО Севзапмебель / Л. Б. Иванов, И. В. Гельман, И. И. Исаева, Т. А. Шагалова // Лесн. журн.— 1987.— № 6.— С. 96—99.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Статистический анализ удельных затрат ручного труда на Гатчинском мебельном комбинате / Л. Б. Иванов, И. В. Гельман, И. И. Журавлева, Т. А. Шагалова // Лесн. журн.— 1986.— № 6.— С. 99—102.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 21 марта 1988 г.

УДК 65.012.2 : 630\*375.5

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПЕРАТИВНО-КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫВОЗКИ В ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНО-ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ СИСТЕМАХ

А. И. ТРЕГУБОВ

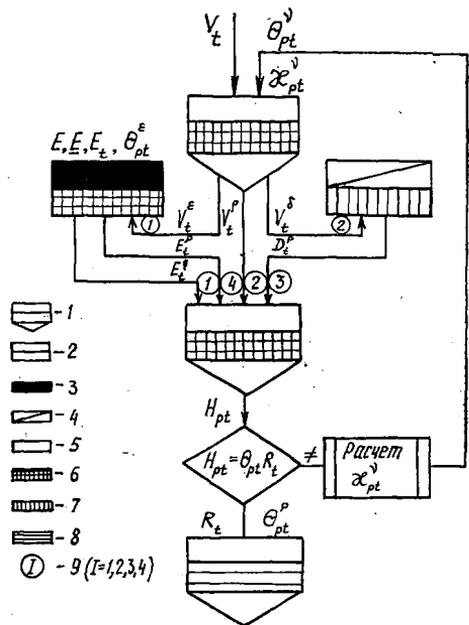
Воронежский лесотехнический институт

Ряд комплексных объединений и предприятий, узкопрофильных комбинатов характеризуется наличием закрепленной потребительской базы, внутренней замкнутостью транспортно-технологических связей, компактным размещением перерабатывающих производств, преобла-

данием прямой автомобильной вывозки леса во двор потребителя, оценкой деятельности по конечной продукции [3]. Подобного рода лесозаготовительно-деревоперерабатывающие системы (ЛДС) по структуре и профилю перерабатывающих производств ориентированы на средний эксплуатационный состав потребительской базы. Из-за ежегодных колебаний породного состава лесосечного фонда и сложности объектов управления в процесс текущего (годового) планирования лесоснабжения ЛДС как в нашей стране, так и ряде зарубежных стран все шире вовлекаются автоматизированные методы [1, 8, 9]. Развитие производств по глубокой химико-механической переработке древесины в некоторой степени снижает требования к размерно-качественным характеристикам древесного сырья. Дальнейшая концентрация и интенсификация лесопромышленного производства требуют сужения интервала планирования поставок сырья и научного подхода к нормированию расхода древесины ценных пород. Однако методы текущего планирования поставок лесоматериалов очень отличаются от оперативно-календарных (квартальных, месячных) методов планирования вывозки тем, что в последнем случае существенными становятся факторы неритмичности технологических потоков лесозаготовок, соизмеримости переходящих запасов на промплощадках с объемами потребления в интервалах планирования и наличия смешанного способа подачи сырья на раскряжевку — из технологических запасов и текущей вывозки. В результате при планировании вывозки леса на промплощадку тождество ресурсы — потребность здесь не только невыполнимо по породным группам, но и по объему, и использование его в качестве основного ограничения при решении, например, задач оптимизации месячных сортиментных программ леспромхозов [4], на наш взгляд, требует особых условий организации производственного процесса.

Поэтому целью работы является исследование влияния сезонности вывозки, наличия технологических запасов на промплощадке на формирование оперативно-календарных планов вывозки леса и разработка соответствующего математического обеспечения для управления

Рис. 1. Эвристическая блок-схема взаимосвязи технологической схемы материальных потоков на лесопромышленном складе и имитационной модели определения объемов вывозки леса по породным группам: 1 — запас; 2 — поток; 3 — оперативный запас тупикового типа ограниченной емкости; 4 — сезонный запас тупикового типа неограниченной емкости; 5 — потоки переменной мощности; 6 — равномерно-распределенная композиция породных групп в объеме; 7 — распределенная по интервалам поступления композиция породных групп с пропорциональной подачей на раскряжевку; 8 — рассортированное древесное сырье по породным группам; 9 — номер приоритета потока



породной структурой\* поступающего потока сырья. Схема внешних материальных потоков древесного сырья на лесопромышленном складе показана на рис. 1. Здесь состояние объекта характеризуется: минимальным  $\underline{E}$  и максимальным  $\overline{E}$  уровнями оперативного запаса и его коэффициентом сменности  $k$ ; в каждом  $t$ -м интервале планирования — входящим потоком вывозки  $V_t$ , который распадается на три составляющие  $V_t^e$ ,  $V_t^o$ , и  $V_t^p$ ; объемами оперативного  $E_t$  и сезонного  $D_t$  запасов\*\* и раскряжевки (переработки)  $R_t$ ; породной структурой потоков и запасов, заданной соответствующими коэффициентами содержания  $p$ -х породных групп —  $\Theta_{pt}^e$ ,  $\Theta_{pt}^o$ ,  $\Theta_{pt}^s$ ,  $\Theta_{pt}^p$ . Организация подачи сырья на раскряжевку и приоритеты потоков следующие: в каждом интервале планирования на раскряжевку поступает в обязательном порядке объем  $E_t^e$ , обеспечивающий сменность оперативного запаса; затем поток прямой вывозки  $V_t^p$ ; недостаток сырья восполняется потоком из сезонного запаса  $D_t^o$  и в последнюю очередь из оперативного потоком  $E_t^o$ . Пополняются запасы потоками вывозки: оперативный  $V_t^e$ , сезонный  $V_t^o$  после заполнения емкости первого. На раскряжевку поступает поток  $H_{pt}$ , породная структура которого зависит от соотношения слагающих потоков  $E_t^e$ ,  $V_t^o$ ,  $D_t^o$  и  $E_t^o$ , в сумме составляющих  $R_t$ .

Исследования проводятся на имитационной модели, при построении которой сделаны такие допущения:

- 1) породная структура древесного сырья в пределах интервала планирования постоянна и изменяется на его границах;
- 2) при смещении потоков вывозки с потоками из технологических запасов образуется однородная породная смесь во всем объеме;
- 3) все объемы древесного сырья приведены к условной единице сырья и между технологическими операциями не изменяются;
- 4) отдельные площадки для хранения древесины и единицы раскряжеочно-сортировочного оборудования агрегированы;
- 5) сезонный запас имеет нелимитированную емкость, оперативный изменяется от минимального уровня до максимального.

Стратегия решения задачи заключается в следующем: в каждом  $t$ -м интервале планирования анализируется баланс поступающего и перерабатываемого сырья по всем  $p$  породным группам, если отклонение  $\Delta_p$  при некотором  $p$  недопустимо, рассчитываются требуемые коэффициенты породной структуры входящего потока  $x_{pt}^y$ , иначе сохраняются исходные значения  $\Theta_{pt}^y$ . По результатам решения задачи формируется расчетный план вывозки, в котором объемы  $V_t$  остаются неизменными, что учитывает неритмичность лесозаготовительного процесса.

Алгоритм математической модели, реализованный в виде блок-схемы, изображен на рис. 2, аналитическое содержание блоков дано ниже в тексте. Анализ и корректировка породной структуры поставляемого сырья проведены в таком порядке: вначале определяют ситуацию — объемы или мощности потоков и запасов (блоки 4—14), затем находят их структуру по общим соотношениям (блоки 15—20).

Исходные данные в постановке задачи определены на множестве интервалов планирования  $T$  и породных групп  $P$  и характеризуются показателями исходного плана вывозки и производственной программы переработки соответственно

$$\{V_t, \Theta_{pt}^y | t = \overline{1, T}; p = \overline{1, P}\}; \{R_t, \Theta_{pt}^p | t = \overline{1, T}; p = \overline{1, P}\}; \quad (1)$$

\* Понимается как совокупность породных групп.

\*\* Использована классификация запасов по работе [2].

Рис. 2. Блок-схема алгоритма определения объемов вывозки леса на лесопромышленный склад по породным группам при неритмичности вывозки относительно раскряжевки (в блоках указаны номера аналитических выражений в соответствии с их описанием в тексте)

состоянием технологических запасов на начало расчетного периода

$$\{\bar{E}, \underline{E}, k, E_t, \theta_{p1}^e | p = \overline{1, P}\};$$

$$\{D_t, \theta_{p1}^s | p = \overline{1, P}\}; \quad (2)$$

допускаемым относительным отклонением поступающего сырья от перерабатываемого

$$\{\Delta_p | p = \overline{1, P}\}. \quad (3)$$

Сменяемый объем оперативного запаса, отвечающий условию хранения, определяют по формуле:

$$E_t^e = 1/kE_t. \quad (4)$$

Алгоритм определения состояния потоков  $V_t^p, V_t^e, V_t^s, E_t^p$  и  $E_t^s$  строят на основе сравнения объемов поступления и переработки древесного сырья в интервале планирования  $t$ .

Ситуация 1 (блоки 5—9). Характерна для пиковых месяцев вывозки, описывается условием

$$E_t^e + V_t \geq R_t, \quad (5)$$

при этом на раскряжевку от прямой вывозки поступает объем

$$V_t^p = R_t - E_t^e \quad (6)$$

и остается для укладки в технологические запасы

$$V_t^w = V_t - V_t^p, \quad (7)$$

оперативный и сезонный запасы на раскряжевку не поступают:

$$E_t^p = 0; \quad D_t^p = 0. \quad (8)$$

Определим свободную емкость оперативного запаса для укладки избыточного объема вывозки

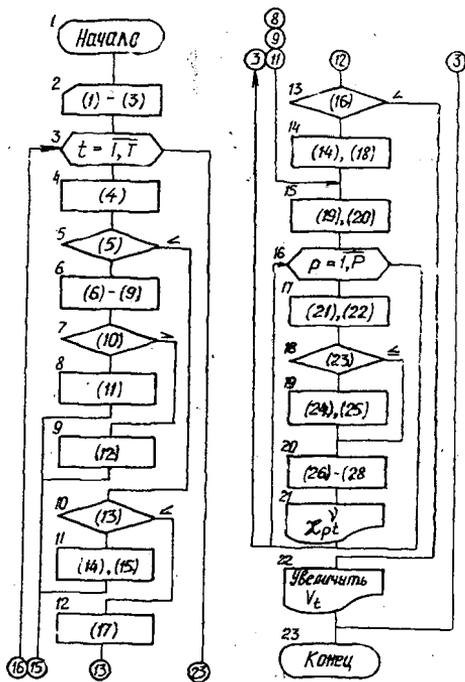
$$E_t^w = \bar{E} - E_t - E_t^e. \quad (9)$$

При этом, если

$$V_t^w \leq E_t^w, \quad (10)$$

то остаток от вывозки полностью укладывается в оперативный запас, что соответствует:

$$V_t^e = V_t^w; \quad V_t^s = 0, \quad (11)$$



иначе остаток поступает и в оперативный, и в сезонный запасы, тогда:

$$V_t^s = V_t^o; \quad V_t^z = 0. \quad (12)$$

Ситуация 2 (блоки 10—12). Характерна для начального периода распутицы, недостаток сырья на раскряжкевке восполняется из сезонного запаса, соответствующее условие имеет вид:

$$E_t^s + V_t + D_t^p \geq R_t, \quad (13)$$

состояние потоков вывозки из технологических запасов следующие:

$$V_t^p = V_t; \quad V_t^s = 0; \quad V_t^z = 0; \quad (14)$$

$$E_t^z = 0; \quad D_t^p = R_t - E_t^s - V_t. \quad (15)$$

Ситуация 3 (блоки 13, 14, 22). Возникает обычно в конце периода распутицы, в это время полностью используется сезонный запас и производится выборка из оперативного, описывается условием:

$$E_t^s + V_t + D_t^p + E_t^u \geq R_t, \quad (16)$$

где  $E_t^u$  — максимальный варьируемый объем выборки из оперативного запаса, определяемый выражением:

$$E_t^u = E_t - \underline{E} - E_t^s. \quad (17)$$

Потоки вывозки как в ситуации 2, а из запасов соответственно

$$E_t^p = R_t - E_t^s - V_t - D_t; \quad D_t^p = D_t. \quad (18)$$

Дальнейшие вычисления производятся по общим выражениям. Объемы оперативного и сезонного запасов на  $t + 1$  интервал планирования определяются итерационными уравнениями вида

$$E_{t+1} = E_t - (E_t^s + E_t^p) + V_t^s; \quad (19)$$

$$D_{t+1} = D_t - D_t^p + V_t^z. \quad (20)$$

Положив

$$x_{pt}^v = \theta_{pt}^v, \quad (21)$$

запишем поступающий поток по составляющим породным группам:

$$H_{pt} = \theta_{pt}^s (E_t^s + E_t^p) + \theta_{pt}^z D_t^p + x_{pt}^v V_t. \quad (22)$$

Если для некоторых  $p$  и  $t$

$$|H_{pt} - \theta_{pt}^p R_t| / \theta_{pt}^p R_t > \Delta_p, \quad (23)$$

то приняв  $H_{pt} = \theta_{pt}^p R_t$  из соотношений (22), находим расчетные объемы вывозки по породным группам:

$$\widehat{V}_{pt} = \theta_{pt}^p R_t - \theta_{pt}^s (E_t^s + E_t^p) - \theta_{pt}^z D_t^p. \quad (24)$$

Расчетные коэффициенты породной структуры поступающего от вывозки древесного сырья во входном потоке определяем из выражения

$$x_{pt}^v = \widehat{V}_{pt} / V_t. \quad (25)$$

Используя уравнения баланса запасов (19) и (20), находим переходящие запасы на  $t + 1$  интервал по каждой породной группе:

$$E_{pt+1} = \Theta_{pt}^{\varepsilon} (E_t - E_t^{\xi} - E_t^{\rho}) + \kappa_{pt}^v V_t^{\varepsilon}; \quad (26)$$

$$D_{pt+1} = \Theta_{pt}^{\delta} (D_t - D_t^{\rho}) + \kappa_{pt}^v V_t^{\delta}. \quad (27)$$

Коэффициенты породной структуры запасов определяем из выражений

$$\Theta_{pt+1}^{\varepsilon} = E_{pt+1} / E_{t+1}; \quad \Theta_{pt+1}^{\delta} = D_{pt+1} / D_{t+1}. \quad (28)$$

В задачах небольшой размерности построенная имитационная модель может быть использована как инженерная методика.

Пример. Для большой ЛДС с условиями организации потоков сырья на лесобирже, как на рис. 1, требуется проверить соответствие плана вывозки плану переработки древесного сырья по каждой породной группе. Структура сырья представлена хвойной ( $p=1$ ) и лиственной ( $p=2$ ) породными группами, проверяемый интервал — начало расчетного периода. Производственные условия характеризуются показателями (единица учета древесного сырья всюду 1 тыс. м<sup>3</sup>, коэффициенты породной структуры выражены в десятых долях, ввиду однотипности размерность объемов опущена):

$$\{V_1 = 150, \Theta_{11}^{\varepsilon} = \Theta_{21}^{\varepsilon} = 0,5\}; \quad \{R_1 = 250, \Theta_{11}^{\rho} = \Theta_{21}^{\rho} = 0,5\};$$

$$\{E_1 = 60, \Theta_{11}^{\xi} = 0,4, \Theta_{21}^{\xi} = 0,6\}; \quad \{D_1 = 70, \Theta_{11}^{\delta} = 0,3, \Theta_{21}^{\delta} = 0,7\};$$

$$\underline{E} = 20; \quad \bar{E} = 60; \quad k = 4; \quad \Delta_1 = \Delta_2 = 0,1.$$

Последовательность решения.

1. Определяем сменяемый объем

$$E_1^{\xi} = \frac{1}{k} E_t = \frac{1}{4} \cdot 60 = 15.$$

2. Определяем максимальный варьируемый объем выборки

$$E_1^{\rho} = E_1 - \underline{E} - E_1^{\xi} = 60 - 20 - 15 = 25.$$

3. Находим соответствующую ситуацию

$$E_1^{\xi} + V_1 + D_1 + E_1^{\rho} = 15 + 150 + 70 + 25 = 260 > R_1.$$

4. Случай соответствует ситуации 3, состояние потоков следующее:

$$V_1^{\rho} = V_1 = 150; \quad V_1^{\varepsilon} = 0; \quad V_1^{\delta} = 0; \quad D_1^{\rho} = 70;$$

$$E_1^{\rho} = R_1 - E_1^{\xi} - V_1^{\rho} - D_1^{\rho} = 250 - 15 - 150 - 70 = 15.$$

5. Определяем объемы поступления сырья на раскряжевку по группам

$$H_{11} = \Theta_{11}^{\varepsilon} (E_1^{\xi} + E_1^{\rho}) + \Theta_{11}^{\delta} D_1^{\rho} + \Theta_{11}^v V_1^{\rho} = 0,4(15 + 15) + 0,3 \cdot 70 + 0,5 \cdot 150 = 108;$$

$$H_{21} = \Theta_{21}^{\varepsilon} (E_1^{\xi} + E_1^{\rho}) + \Theta_{21}^{\delta} D_1^{\rho} + \Theta_{21}^v V_1^{\rho} = 0,6(15 + 15) + 0,7 \cdot 70 + 0,5 \cdot 150 = 142.$$

6. Проверяем баланс поступления и раскряжевки по группам

$$\frac{|H_{11} - \Theta_{11}^{\rho} R_1|}{\Theta_{11}^{\rho} R_1} = \frac{|108 - 0,5 \cdot 250|}{0,5 \cdot 250} = \frac{|-17|}{125} = 0,136 > \Delta_1;$$

$$\frac{|H_{21} - \Theta_{21}^{\rho} R_1|}{\Theta_{21}^{\rho} R_1} = \frac{|142 - 0,5 \cdot 250|}{0,5 \cdot 250} = \frac{|17|}{125} = 0,136 > \Delta_2.$$

7. Ввиду дисбаланса, находим требуемые объемы вывозки по группам:

$$\widehat{V}_{11} = \Theta_{11}^{\rho} R_1 - \Theta_{11}^{\varepsilon} (E_1^{\xi} + E_1^{\rho}) - \Theta_{11}^{\delta} D_1^{\rho} = 0,5 \cdot 250 - 0,4(15 + 15) - 0,3 \cdot 70 = 92;$$

$$\widehat{V}_{21} = \Theta_{21}^{\rho} R_1 - \Theta_{21}^{\varepsilon} (E_1^{\xi} + E_1^{\rho}) - \Theta_{21}^{\delta} D_1^{\rho} = 0,5 \cdot 250 - 0,6(15 + 15) - 0,7 \cdot 70 = 58.$$

8. Находим расчетные коэффициенты структуры сырья по вывозке

$$\kappa_{11} = \frac{\widehat{V}_{11}}{V_1} = \frac{92}{150} \approx 0,6; \quad \kappa_{21} = \frac{\widehat{V}_{21}}{V_1} = \frac{58}{150} \approx 0,4.$$

Характерно, что устранение дефицита по хвойной группе другими методами без предварительной подсортировки требует увеличения мощностей по вывозке и раскряжке на 34 тыс. м<sup>3</sup> или при допустимой выработке оперативного запаса на 26 и 36 тыс. м<sup>3</sup> соответственно.

Разработанная имитационная модель позволяет раскрыть механизм образования дефицита и избытка древесного сырья на промплощадке ЛДС. Целесообразна машинная реализация алгоритма, могут быть использованы малые и персональные ЭВМ.

Вопросы управления породной структурой древесного сырья, поступающего из лесосечного фонда, рассмотрены в работах [5, 6, 7].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Автоматизация плановых расчетов по производству и поставке лесоматериалов предприятиям лесопромышленного региона / Г. А. Степаков, Р. С. Шашкина, Ф. В. Пуговкин и др. // Повышение эффективности производства в лесной промышленности и лесном хозяйстве на основе АСУ.—М.: Минлесбумпром, 1986.—С. 93—95. [2]. Алябьев В. И., Зайкин А. Н. Классификация запасов в транспортно-технологическом потоке лесозаготовительного процесса // Автоматизация и комплексная механизация процессов лесопромышленных предприятий: Сб. науч. тр. / МЛТИ.—М.: МЛТИ, 1981.—Вып. 133.—С. 50—54. [3]. Петров А. П., Мещеряков С. А. Совершенствование методов оценки деятельности лесозаготовительно-древоперерабатывающих объединений (на примере Усть-Илимского ЛПК) // Лесн. журн.—1985.—№ 3.—С. 108—111.—(Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Степаков Г. А. Оптимизация производства круглых лесоматериалов.—М.: Лесн. пром-сть, 1974.—160 с. [5]. Трегубов А. И. Оптимизация вывозки леса при ограничениях по породно-качественному составу // Автоматизация и комплексная механизация процессов лесопромышленных предприятий: Сб. науч. тр. / МЛТИ.—М.: МЛТИ, 1985.—Вып. 172.—С. 66—69. [6]. Трегубов А. И. Организация выборочной вывозки леса для лесопромышленных комплексов // Комплексная механизация лесозаготовок и транспорт леса.—Л.: ЛТА.—1986.—С. 30—34. [7]. Трегубов А. И. Системный анализ технико-экономических показателей выборочной вывозки леса в лесопромышленном комплексе // Экспресс-информ.: Отч. произв. опыт.—М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986.—С. 25—27.—(Экономика и управление; Вып. 9). [8]. Donald G. Roberts. Timber supply planning models: past and present // Canadian Forest Industries.—1984.—Vol. 104, N 11.—P. 63—65. [9]. Qualifizierung der Rohholztransportimung durch die Anwendung des Modells der Leerfahrtoptimierung / F. Goltz. (et Al) // Sozialistische Forstwirtschaft.—1985.—N 6.—S. 164—166.

Поступила 13 августа 1987 г.

УДК 630\*79 : 630\*71

### ОПТИМИЗАЦИЯ ВАРИАНТОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК В КОМПЛЕКСНОМ ПРЕДПРИЯТИИ МАЛОЛЕСНОЙ ЗОНЫ

Т. Л. БЕЗРУКОВА

Воронежский лесотехнический институт

Удовлетворение потребностей общества в древесине требует введения в практику лесозаготовок лесоводственно и экономически оправданных методов рубок. Еще в конце прошлого века видные русские ученые-лесоводы дали положительную оценку постепенным и выборочным рубкам. На современном этапе целесообразность сплошных рубок не снижается, а, наоборот, резко усиливается. На необходимость замены сплошных рубок выборочными и длительно-постепенными там, где это возможно, указывают Т. С. Лобовиков [2] и другие ученые.

Для малолесных зон такой путь наиболее приемлем как менее сложный по технологии, требует значительно меньше трудовых и денежных затрат.

Для оценки эффективности лесозаготовок была разработана и научно обоснована система экономических и лесоводственных показателей. В методическом подходе к такой оценке определены два взаимо-

обусловленных и взаимосвязанных аспекта деятельности: лесозаготовки как условие и средство производства лесных материалов; лесозаготовки как условие и средство расширенного воспроизводства лесных ресурсов. Соединение этих аспектов возможно лишь на основе системы оценочных показателей, которая может осуществить внутреннюю связь и соподчиненность ее элементов.

Для научного обоснования такой системы был проведен анализ существующих точек зрения на оценку эффективности лесозаготовительного производства, изучена классификационная схема условий и режимов лесопользования в лесных предприятиях, применены элементы теории графов и метод экспертных оценок. Все это позволило определить систему экономических и лесоводственных показателей для оценки эффективности лесозаготовительного производства в комплексных предприятиях малолесных областей.

Экономические показатели системы отражают следующее.

Эффект от удовлетворения потребностей в лесных материалах предлагается определять через коэффициент удовлетворения спроса в древесине за счет собственных ресурсов ( $k_{уд}$ ).

Эффект затрат труда, материальных ресурсов, основных фондов — через показатели комплексной выработки рабочих на лесозаготовках ( $K$ ), цены 1 м<sup>3</sup> заготовленной древесины ( $C$ ), фондоотдачи основных фондов лесозаготовок ( $\Phi$ ), текущих ( $C_{лв}$ ) и приведенных ( $ПЗ_{лв}$ ) затрат на заготовку 1 м<sup>3</sup>.

Эффект транспортных затрат — через показатели плотности дорог ( $\Gamma$ ) на территории лесного фонда и приведенных затрат на перевозку 1 м<sup>3</sup> от лесосеки до нижнего склада ( $ПЗ_{т}$ ).

Лесоводственная сторона характеризуется влиянием рубок леса на развитие лесного фонда через показатели размера пользования лесом по массе ( $L_m$ ), прироста по запасу ( $Z_m$ ), среднюю таксовую цену 1 м<sup>3</sup> ( $t_{ср}$ ), себестоимость лесовыращивания 1 га ( $C_{лв}$ ) и лесоводственный эффект ( $\mathcal{E}_{лв}$ ). Показатели системы построены на существующих методиках экономических расчетов и лесоустройства, прейскурантах оптовых и таксовых цен, использованы нормативы Союзгипролесхоза. Себестоимость лесозаготовок рассчитана по всему комплексу лесосечных работ, включает зарплату рабочих с начислениями, амортизационные отчисления и накладные расходы. Себестоимость лесовыращивания определена по методике И. В. Воронина как сумма прямых и косвенных расходов на ведение лесного хозяйства за определенный период по хозяйственным секциям [1]. Лесоводственный эффект условно выражен через экономию затрат на выращивание дополнительных гектаров леса, необходимых для восполнения той продуктивности, которая образуется в результате применения несплошных рубок.

Расчет оценочных показателей системы основан на построении проектных макетов при наличии определенной нормативной базы с использованием метода экономико-математического моделирования. Пример расчета эффективности лесозаготовок и выбор наиболее эффективного варианта рубок произведен на базе комплексного лесного предприятия ЦЧЭР — Воронежского мехлесхоза. Это предприятие I группы лесов, обладающее хорошими почвенно-грунтовыми условиями, структура древостоев разновозрастная.

В число факторов изменения оценочных показателей мы включили два, на наш взгляд, основных: введение постепенных и выборочных рубок в практику лесозаготовок и изменение технологии лесозаготовительного производства.

Для целей исследования построена сетка проектных макетов, которая включает 12 вариантов: четыре — по доле несплошных рубок

(варианты *A, B, C, D*) и три — по технологии лесозаготовок (варианты I, II, III). Современному положению в мехлесхозе, где несплошные рубки не ведутся совсем, соответствует вариант *A*; при варианте *B* доля этих рубок составляет 0,2; *C* — 0,4 и *D* — 0,6, что соответствует ведению несплошных рубок в размере 20, 40 или 60 % от общего объема лесозаготовок.

Продолжать изучение данного фактора для мехлесхоза нецелесообразно. Доля рубок задается параметрически с равными промежутками через 20 %, что дает возможность выразить связь оценочных показателей с данным фактором через линейную зависимость. При этом для всех вариантов предусматривается проведение рубок промежуточного пользования.

Первые два варианта технологии лесозаготовок основаны на вывозке хлыстов (I вариант) и сортиментов (II вариант). III вариант предусматривает использование лесосечных и кусковых отходов для производства технологической щепы с помощью самоходной рубильной установки. Сумма капиталовложений на проведение лесосечных работ при различных технологиях по нормативам Союзгипролесхоза обозначена  $\omega$ .

Значения оценочных показателей системы эффективности лесозаготовок по вариантам

Показатели	Варианты технологий лесозаготовок ( $\omega$ )	Значения показателей по вариантам рубок ( $p$ )			
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Коэффициент удовлетворения спроса в лесной продукции $k_{уд}$	I	0,39	0,41	0,43	0,44
	II	0,41	0,43	0,45	0,46
	III	0,42	0,44	0,46	0,48
Комплексная выработка рабочих на лесозаготовках $K$ , м <sup>3</sup> /чел.	I	1 147	1 138	1 129	1 121
	II	817	820	824	833
	III	676	670	666	664
Цена 1 м <sup>3</sup> (франко-лесосека) $C$ , р.	I	6,86	7,04	7,22	7,40
	II	9,15	9,18	9,20	9,22
	III	10,52	10,54	10,57	10,58
Себестоимость заготовки 1 м <sup>3</sup> (лесосечные работы) $C_{лз}$ , р.	I	2,35	2,39	2,43	2,47
	II	3,26	3,28	3,29	3,29
	III	3,81	3,84	3,87	3,89
Фондоотдача $\Phi$ , р./р.	I	4,97	5,41	5,84	6,28
	II	5,43	5,84	6,24	6,64
	III	5,70	6,11	6,51	6,92
Приведенные затраты на заготовку 1 м <sup>3</sup> ПЗ <sub>лз</sub> , р.	I	2,57	2,61	2,65	2,68
	II	3,52	3,53	3,53	3,54
	III	4,08	4,12	4,14	4,16
Густота дорог $G$ , км/км <sup>2</sup>	—	1,40	1,40	1,41	1,41
Приведенные затраты на транспортировку 1 м <sup>3</sup> ПЗ <sub>т</sub> , р.	—	4,46	4,44	4,42	4,41
Размер лесопользования по массе $L_m$ , м <sup>3</sup> /га	—	2,49	2,60	2,71	2,82
Прирост по запасу $Z_m$ , м <sup>3</sup> /га	—	2,54	2,70	2,86	3,02
Средняя таксовая цена 1 м <sup>3</sup> $t_{ср}$ , р.	I	7,06	7,32	7,57	7,83
	II	7,12	7,37	7,62	7,88
	III	7,15	7,40	7,66	7,91
Себестоимость лесовыращивания $C_{лв}$ , р./100 га	—	1 092	1 096	1 100	1 104
Лесоводственный эффект $\mathcal{E}_{лв}$ , р./га	—	—	63,13	138,6	200,05

Результаты проведенных расчетов (см. таблицу) показали, что экономико-математическая модель каждого из показателей системы аппроксимируется функцией вида:

$$F = a - bp + c\omega - dp\omega,$$

где  $p$  — доля несплошных рубок в общем объеме лесопользования.

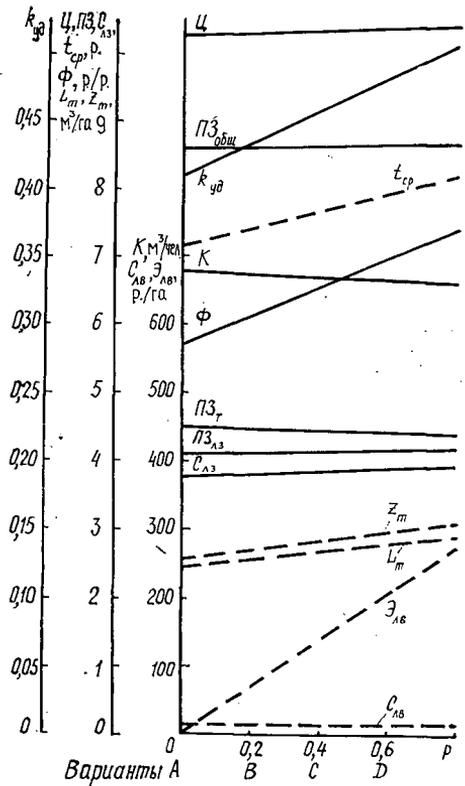
Графическое изображение зависимости каждого показателя дает наглядность и позволяет получить конкретно выраженный характер изменения оценочных показателей от  $p$  и  $\omega$ . Для разных вариантов лесозаготовок строят графики с различной шкалой. Наибольший интерес для нас представляет III вариант (см. рисунок), отражающий более полное использование древесного сырья.

Изображение трендов экономических и лесоводственных оценочных показателей на одном графике позволяет проанализировать все показатели системы эффективности лесозаготовок и выявить наиболее выгоднейший путь решения проблемы. Выбор оптимальных решений осуществляется по критериям себестоимости и приведенных затрат на минимум, по остальным показателям — на максимум.

На графике по мере роста  $p$  наблюдается увеличение большинства показателей. Растет и себестоимость, однако ее рост компенсируется увеличением суммы доходов от повышения цены в результате получения более качественной продукции. Рост лесоводственных показателей выражает лесоводственный эффект.

Направления трендов приводят к выводу: с увеличением  $p$  растет эффективность лесозаготовок по совокупности экономических и лесоводственных показателей.

Так, при варианте лесозаготовок  $D$  достигается по сравнению с вариантом  $A$ : 1) повышение таксовой цены (на 12,0 %), размера лесопользования (13,3 %), прироста по массе (18,9 %); 2) получение лесоводственного эффекта за счет улучшения указанных в п. 1 лесоводственных показателей в размере 200,05 р./га или в целом по предприятию на средний год освоения 29,0 тыс. р.; 3) повышение текущих и приведенных затрат на лесозаготовках до 2,1 %, что компенсируется увеличением цены 1 м<sup>3</sup> заготавливаемой древесины с эффектом (по разнице товарной продукции и себестоимости лесозаготовок) 106,9 тыс. р. в год для исследуемого предприятия; 4) повышение степени удовлетворения спроса в лесной продукции за счет собственных ресурсов до 50 % против существующего уровня в 39,0 %.



Изменение оценочных показателей в зависимости от  $p$  для варианта III: сплошные линии — экономические показатели; штриховые — лесоводственные

По результатам исследования выбран оптимальный вариант лесозаготовок для Воронежского мехлесхоза D—III, что соответствует введению в практику лесозаготовок несплошных рубок при доле их участка до 60 %, обеспечению частичного решения проблемы комплексного использования древесины в результате выработки на лесосеке технологической щепы из лесосечных отходов.

Внедрение оптимального варианта в комплексном лесном предприятии малолесной зоны позволит улучшить качественное состояние древостоя и частично сократить объем поставок древесины из удаленных лесоизбыточных районов.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Воронин И. В. Организация комплексных хозяйств в лесах I и II групп.— М.: Гослесбумиздат, 1962.— 83 с. [2]. Лобовиков Т. С. Лесные предприятия будущего и воспроизводство лесных ресурсов // Лесн. журн.— 1977.— № 4.— С. 18—25.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 26 декабря 1988 г.

УДК 658.1 : 684

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА УРОВНЕ ПРЕДПРИЯТИЯ МЕБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (системный подход)

П. ЖУКОВСКИ

Ленинградская лесотехническая академия

Предприятие мебельной промышленности можно рассматривать как структурную социально-техническую систему действия, систему, в которой происходит трансформация входных потоков (рабочей силы, сырья и материалов, энергии, техники, финансов, информации и т. д.) в потоки выходные (готовая продукция, полуфабрикаты, промышленные услуги, финансовые ресурсы, загрязнение среды и т. д.). Эта информация происходит с участием разных процессов, устройств и организационно-технических средств, при соответствующей организации трудовых коллективов [4, 5].

Каждое мебельное предприятие, как система действия, в процессе реализации намеченной цели создает совокупность взаимосвязанных подсистем. Это указывает на возможность использования системного подхода в описании проблемы управления его хозяйственной деятельностью. Построенная общая модель системы управления с целью четкого представления основных связей и взаимодействий должна учитывать главные подсистемы на довольно высоком уровне абстракций [2, с. 513].

Принимая во внимание роль составных элементов в процессе трансформации входных потоков в выходные, в хозяйственной деятельности мебельного предприятия можно выделить следующие основные подсистемы: технико-технологическую, организационной структуры, социально-психологическую, управления.

Каждой из них сопутствуют подсистемы более низкого уровня. Целесообразность подразделения таких подсистем зависит от конкретной цели исследования. В нашем случае приведенная классификация объекта исследования достаточна для выявления основных связей (построения модели) системы управления.

Технико-технологическая подсистема зависит от задач, выполняемых предприятием, и включает здания, постройки, машины, установки,

специальную аппаратуру (отраслевую и общего применения), средства транспорта, инструменты и приборы, а также технологические методы, применяемые в производственно-хозяйственной деятельности. Ее задача — обеспечить бесперебойное функционирование предприятия в техническом плане при соблюдении максимальной технико-экономической эффективности.

На форму подсистемы организационной структуры влияют технологические методы и требования бесперебойной (постоянной) реализации производственных задач. С формальной точки зрения структура устанавливается в организационной схеме предприятия путем определения сфер деятельности, раздела компетенции, поведения и процедур, информационных связей и т. п. Эта подсистема в основном занимается разделением задач в хозяйственной деятельности на оперативные ячейки (производственные участки, цеха), а также обеспечением координации и интеграции процессов реализации этих задач.

Социально-психологическая подсистема является совокупностью взаимоотношений между сотрудниками предприятия. Она состоит из взаимодействий и сотрудничества трудовых коллективов, их чаяний и планов, чувств, системы ценностей и целей, взглядов и трудовых навыков, квалификации, дисциплины труда, межличностных отношений, мотивации, динамики групп и других связанных с этим факторов: она способна сама по себе динамизировать хозяйственную деятельность предприятия.

Подсистема управления является процессом, который охватывает все предприятие и соединяет много подсистем действия, управляет процессом производства, организует трудовые, материальные, энергетические и другие необходимые ресурсы, постоянно воздействует на поступление в технико-технологическую подсистему сырья и материалов, рабочей силы и энергии, технических и финансовых средств, информации, а также занимается налаживанием и поддержанием связей со средой. Основная функция управления (по Д. Т. Томпсону) — это объединение людей, организованного действия, технологических методов и требований среды в одно целое и проектирование организационной структуры, влияющей на бесперебойное и эффективное функционирование предприятия [2, с. 515].

Системный подход к мебельному предприятию как структурной социально-технической системе требует также рассмотреть основные взаимоотношения между выделенными подсистемами.

Технико-технологическая и социально-психологическая подсистемы постоянно воздействуют друг на друга. Технические и технологические требования ограничивают возможности принятия произвольных решений в области организации труда и производства. В свою очередь, психологические и социальные аспекты организации труда и производства почти не зависят от технико-технологической подсистемы. Хотя технологические методы и производственные задачи существенным образом воздействуют на входные и выходные потоки в хозяйственной деятельности, результативность и эффективность их главным образом зависят от социально-психологической подсистемы, объединения вокруг них деятельности трудового коллектива. Таким образом, эти подсистемы в контексте хозяйственной деятельности следует рассматривать совместно во взаимосвязи. Основные соотношения между этими подсистемами создает организационная структура. Однако формальные соотношения, указанные в организационной структуре, не являются полными, и многие взаимодействия и связи между технико-технологической и социально-психологической подсистемами происходят вне формальной структуры. В хозяйственной деятельности мебельного предприятия элементы энергоматериального снабжения постоянно вводятся

в технико-технологическую подсистему, трансформируются здесь, а затем в форме продуктов и услуг поступают в среду (общество). Предприятие, таким образом, должно постоянно снабжаться ресурсами из среды-общества. В свою очередь, результаты его деятельности должны одобряться тем же обществом, чтобы было возможным возобновление деятельности. Подсистема управления, особенно в оперативной деятельности, поддерживает материально-энергетическое и другое снабжение системы, одновременно стремясь к уменьшению неопределенности условий среды и обеспечению эффективности функционирования как отдельных подсистем, так и системы в целом. Следовательно, в модели управления хозяйственной деятельностью предприятия необходимо выделить также подсистему снабжения (ресурсов) и оперативную подсистему.

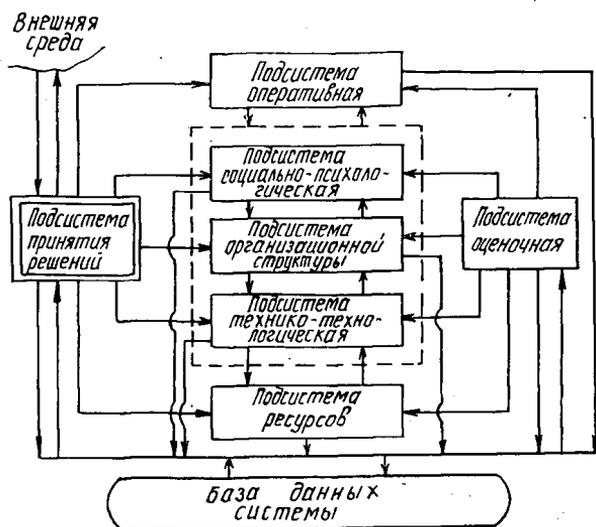


Рис. 1. Схема концептуальной модели системы управления хозяйственной деятельностью мебельного предприятия

На основе изложенного анализа деятельности предприятия мебельной промышленности, рассматриваемого как структурная социально-техническая система действия, была построена общая модель системы управления хозяйственной деятельностью, упрощенная схема которой представлена на рис. 1, а кибернетическая схема принятия решений в управлении — на рис. 2. Из схемы (рис. 1) видно, что общая модель системы управления имеет также оценочную подсистему, так как совокупность целей и ценностей является важным составным элементом интегрального целого. Оценочные проблемы на мебельном предприятии, в сопоставлении с хозяйственной деятельностью, касаются совокупности задач контроля, применяемого анализа и оценки эффективности. Дело в том, чтобы, руководствуясь как общественным интересом, так и системой инструментов и поощрений (экономических и неэкономических), предприятие самым эффективным образом использовало находящиеся в его распоряжении средства (ресурсы).

Одним из очень важных вопросов системы управления хозяйственной деятельностью мебельного предприятия является создание и по-

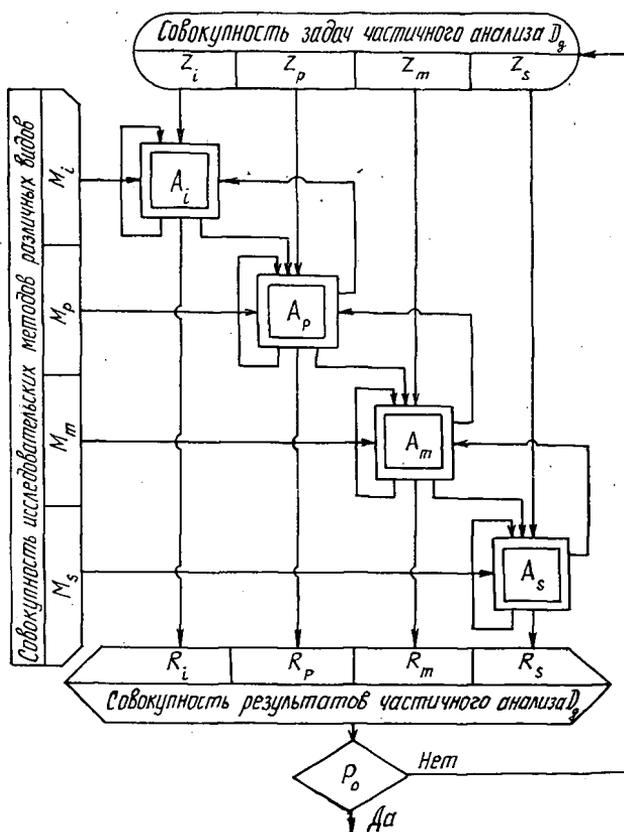


Рис. 2. Кибернетическая схема принятия решений в управлении на информационной основе (системный подход):  $A_i$  — анализ идентификации;  $A_p$  — проблемный анализ;  $A_m$  — математический анализ;  $A_s$  — статистический анализ;  $Z$  — задачи анализа;  $M$  — методы исследования;  $R$  — результаты анализа;  $D_g$  — хозяйственная (производственная) деятельность;  $P_o$  — окончательное (оптимальное) решение

стоянное обновление основной информационной базы (рис. 1). Базу данных системы, как уже указывалось, создает организация взаимосопряженных картотек (информационных массивов). В случае разработки интегрированной системы управления основная база данных системы создается на этапе технической подготовки производства [1, с. 61; 2, с. 469].

Из системного подхода к предприятию мебельной промышленности следует, что действительно подсистема управления (рис. 1) интегрирует всю хозяйственную деятельность, координирует процессы снабжения, руководит процессом производства и сбыта изделий, стремится в условиях динамических перемен выработать и поддерживать постоянные связи со средой. Согласно концепции Т. Парсонса, в иерархической структуре сложной организации (а такой является мебельное предприятие) можно выделить три уровня управления: самый низкий — оперативный (технический), средний — тактический (координирующий) и самый высокий — стратегический (генеральный, общественный) — рис. 3.

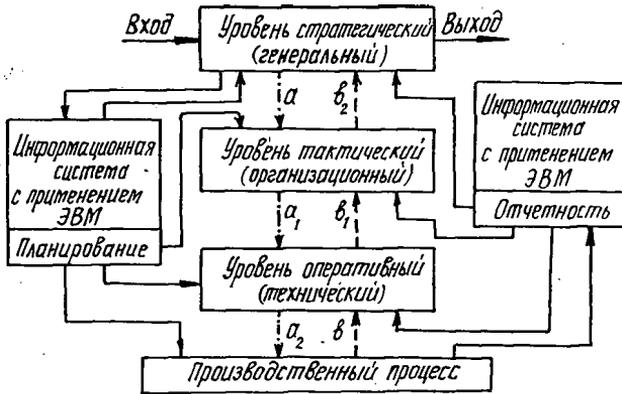


Рис. 3. Схема уровней системы управления в условиях применения электронно-вычислительной техники;  $a$  — информация управления;  $b$  — информация исполнения

Оперативный уровень управления имеет свои границы, которые, хотя не изолируют его полностью от среды, в значительной степени являются закрытыми. Тактический уровень в меньшей степени закрытый и вследствие этого в большей степени подвергается вмешательству среды.

Стратегический уровень имеет легко преодолимые границы и находится под сильным влиянием не подвергающихся контролю элементов (факторов) среды, которые трудно предвидеть. Предмет оперативного управления, главным образом, — техническая и экономическая рациональность, обеспечение эффективного функционирования технико-технологической подсистемы и эффективности производства на базе определенного технологического метода. Руководитель этого уровня управления, принимая точку зрения, характерную для закрытой системы, обращает внимание на производственные задачи, определяемые короткими пределами времени, и использует количественные стратегии принятия решений.

Тактический уровень управления трансформирует неопределенность и многозначность среды в экономико-техническую рациональность, необходимую для снабжения технико-технологической подсистемы. Он находится между технико-технологической и социально-психологической подсистемами как их координатор. Он исполняет роль посредника, интегрируя технический уровень управления со стратегическим уровнем. Руководитель этого уровня управления имеет дело с внутренними аспектами функционирования и заинтересован больше социально-психологической, чем технико-технологической подсистемой предприятия. Ему свойственно мышление в категориях открытой системы, направленное на производственные задачи как с коротким, так и длинным временным пределом. Он применяет такую стратегию принятия решений, которая приводит к компромиссам между требованиями операционного и стратегического уровней управления.

Стратегический уровень управления предприятием находится в ситуациях, которые по своему характеру являются динамическими и часто многозначными.

Здесь встречается самая высокая неопределенность и ненадежность входных потоков из среды, на которой нет полного контроля. Этот уровень управления должен устранять неопределенность и иногда действовать в неясных ситуациях, поддерживать рациональные связи

и взаимодействия предприятия как системы со средой. Руководство стратегического уровня управления должно обладать широким представлением о развитии и функционировании всего предприятия, думать категориям открытой системы, иметь широкомасштабную точку зрения, применять новаторскую и адаптивную стратегию принятия решений и подготовить предприятие так, чтобы оно могло эффективно действовать в динамически изменяемой среде. Неопределенность условий среды и ее многозначность влияют на то, что на практике стратегия принятия управленческих решений в значительной степени основывается на интуитивных суждениях и опыте руководителей [2, с. 519].

В практике мебельных предприятий разделение полномочий от стратегического уровня через тактический к оперативному уровню нечеткое. При этом становятся возможными разные связи и способы решения взаимодействий отдельных уровней управления. Такая точка зрения указывает на тенденцию к отходу от традиционной концепции резкого деления полномочий и ответственности. По Л. Саулесу, именно системный подход подчеркивает, что управление не имеет острых, ясно очерченных границ [2, с. 519]. Действительно, современный руководитель находится больше в сети взаимных зависимостей, разнообразных связей и воздействий, чем в очерченном уровне управления. В предприятии мебельной промышленности это явление можно особенно ярко наблюдать на тактическом и оперативном уровнях. Руководитель тактического уровня не может полностью использовать своих руководящих полномочий по отношению к специалистам оперативного уровня потому, что он не имеет полных специальных знаний, необходимых в деятельности на этом уровне. Поэтому он должен полагаться на специалистов в других областях деятельности (техники, технологии и т. п.). Руководитель может отказаться от предложений высококвалифицированного специалиста, однако сам одновременно не может предложить других вариантов решений. Таким образом, необходимо выработать механизмы и средства приспособления и сотрудничества разных уровней управления. Целью должны быть поиски динамического равновесия, в котором отдельные подсистемы, как и предприятие в целом по отношению к среде (обществу), в такой степени взаимно приспособлены, что система (предприятие) может реализовать свои задачи (цели) без острых противоречий или конфликтов. В динамическом равновесии могут быть некоторые небольшие колебания параметров в подсистемах, однако они не должны превысить определенных предельных величин, после которых нарушается равновесие во всем предприятии. Такая интерпретация роли управления, в системном подходе, может быть полезной для совершенствования управления хозяйственной деятельностью на мебельных предприятиях, действующих в существенно изменившихся условиях хозяйствования при соблюдении принципов самостоятельности, самоуправления и самофинансирования.

В заключение надо подчеркнуть, что управление хозяйственной деятельностью на предприятиях мебельной промышленности осуществляется на трех уровнях. На самом низком уровне, оперативном (участок, цех), где управляющие действия четко выражены и постоянно повторяются, в принятии решений могут быть применены линейные жестко детерминированные модели. На среднем уровне, тактическом (крупный цех, завод), где заметно внешнее воздействие среды, с определенной степенью случайности, необходимо в принятии решений применять, кроме детерминированных, также стохастические модели. На высшем уровне, стратегическом (предприятие), где имеет место сильное, неопределенное воздействие внешней среды, принятие управленческих решений требует в основном использования как стохастических,

так и игровых моделей [3]. Руководители должны мыслить и действовать в категориях закрытой системы на оперативном уровне, а также открытой системы на тактическом и стратегическом уровнях управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Жуковски П. Интегрированная система электронной обработки данных для целей управления в масштабе предприятия деревообрабатывающей промышленности // Тр. НИИДП.— Познань.— 1976.— № 22/23.— С. 60—64. [2]. Жуковски П. Основные проблемы организации труда и экономики производства.— Варшава: Научиздат, 1986.— 542 с. [3]. Жуковски П. Возможности принятия управленческих решений на основе стохастических моделей линейного программирования // Науч. тетради Щецинского ун-та.— 1986.— № 5, вып. 3.— С. 149—183. [4]. Иванов Л. Б. Основы управления производством.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 224 с. [5]. Петров А. П., Бурдин Н. А., Кожухов Н. И. Лесной комплекс. Вопросы теории и практики.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.— 296 с.

---

Поступила 10 мая 1988 г.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630\*564

ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗРАСТНОЙ ДИНАМИКИ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

О. Н. КРАНКИНА

Ленинградская лесотехническая академия

Основное препятствие на пути решения проблемы достоверного прогнозирования возрастной динамики насаждений — недостаток данных долгосрочных наблюдений за ростом древостоев. При моделировании роста на основе однократной таксации большого числа пробных площадей результат полностью зависит от способа группировки материала. Наиболее распространенный способ группировки — по классам бонитета — не может дать верного результата, поскольку бонитетная шкала не отражает действительного роста в высоту хвойных древостоев\*.

Таблица 1

Сведения о постоянных пробных площадях

Номер пробной площади	Состав древостоя	Возраст, лет		Число повторений таксации	Класс бонитета	Тип леса
		Начало наблюдений	Конец наблюдений			
26А	10С	34	89	10	II—I	С. брусничный
27А	10С	38	92	6	III—II	»
28А	10С	23	77	10	II—I	С. черничный
61А	10С	57	105	6	II—I	»
9А	10Е	44	100	11	III—I	Е. кисличный
44А	10Е	28	84	9	II—I	Е. дубравно-травяной
46А	10Е	21	71	6	I—Ia	»

В работе использованы данные многолетних наблюдений за ростом чистых хвойных древостоев на постоянных пробных площадях ЛенНИИЛХ (табл. 1). Для приведения их к виду таблиц хода роста были подобраны функции для выравнивания возрастной динамики таксационных показателей. Для ряда показателей (средняя, верхняя и видовая высота, средний диаметр, запас) наилучшие результаты дала логарифмическая функция  $y = a + b \lg x$ , где  $y$  — таксационный показатель;  $x$  — возраст древостоя;  $a, b$  — коэффициенты. Благодаря простоте функции, с ее помощью можно прогнозировать рост древостоя, имея данные по двум точкам.

Нередко в работах по прогнозированию роста проблема его точности не ставится или же прогнозируемые значения сопоставляются с данными таблиц хода роста, математическими моделями которых и являются уравнения, используемые для прогноза. Имеющиеся данные многолетних наблюдений дают уникальную возможность проверить точность предлагаемого метода прогноза на эмпирическом материале.

Прогнозируемые значения таксационных показателей рассчитывали для каждой пробной площади по двум точкам, взятым с интервалом 9...12 лет и 19...22 года, а затем их сопоставляли с действительными значениями. Для сравнения был сделан прогноз динамики средней высоты по бонитетной шкале.

Анализ результатов показал, что увеличение интервала между исходными точками не улучшает прогноза. Как видно из табл. 2, среднее квадратичное отклонение прогнозируемых показателей от действительных во всех случаях возрастает с увеличением срока прогноза. При прогнозировании на 10...15 лет среднее квадратичное отклонение для среднего диаметра и запаса находится в пределах нормативов точности определения этих таксационных показателей при глазомерной таксации; для

\* Сеннов С. Н. Уход за лесом. Экологические основы.— М.: Лесн. пром-сть, 1984.— 128 с.

Таблица 2

Среднее квадратичное отклонение  
прогнозируемых значений от действительных

Показатель	Срок прогноза, лет		
	10...15	16...30	31 и более

Прогноз по логарифмической кривой

Число наблюдений	17	31	20
Верхняя высота, м	2,37	3,20	3,81
Средняя высота, м	1,92	2,66	3,24
Средний диаметр, см	0,81	1,84	2,83
Видовая высота, м	0,81	1,23	1,28
Запас, %	13,4	19,4	28,1

Прогноз по бонитетной шкале

Число наблюдений	7	13	19
Средняя высота, м	1,61	4,28	5,44
Критерий Фишера:			
$F_{\text{выч}}$	1,51	2,57	2,81
$F_{\text{табл. 0,05}}$	3,57	2,09	2,42

средней высоты немного превышает нормативы. При прогнозировании динамики средней высоты по бонитетной шкале на срок более 15 лет отклонения достоверно увеличиваются по сравнению с прогнозированием по логарифмической кривой.

Рассмотренный простой метод прогнозирования может быть использован в лесоустройстве в целях актуализации таксационной характеристики насаждений в возрасте 30...100 лет.

УДК 630\*243.8 : 631.811.98

## ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ СНИЖЕНИЯ ПРИРОСТА В ВЫСОТУ ОТ ДОЗЫ РЕТАРДАНТА ГИДРЕЛА В МОЛОДНЯКАХ

В. А. АЛЕКСЕЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Среди известных регуляторов роста, выпускаемых отечественной промышленностью и разрешенных к использованию в сельском хозяйстве на 1986—1990 гг., назван гидрел [4]. Его применяют в дозах 1,5...4 л/га для выравнивания созревания плодов томата. Благодаря слабой токсичности и быстрой детоксикации остаточных количеств препарата, плоды разрешено употреблять в пищу спустя 10 дн после обработки [4].

Гидрел также рекомендуется применять в качестве ретарданта для предотвращения прорастания продовольственного картофеля путем опрыскивания клубней 0,5 %-м раствором при закладке на хранение [4] и в других целях.

Предварительные лесоводственные исследования показали, что гидрел является также хорошим ростовым ретардантом мелколиственных пород в молодняках и слабо

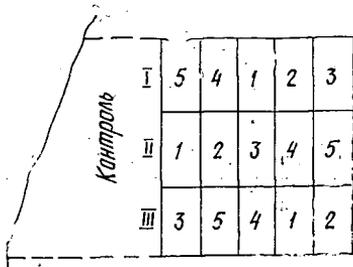


Рис. 1. Схема расположения опытных площадок: 1, 2, 3, 4, 5 — варианты доз; I, II, III — повторности

влияет на хвойные [1]. Однако не ясно, насколько применявшиеся дозы оптимальны и какова зависимость между дозой и вызываемым эффектом снижения прироста в высоту. Поэтому исследования 1986 г. имели целью выявить эту зависимость.

Условия опытов отличались в основном от предыдущих [1] тем, что применяли пять вариантов доз от 1 до 5 л/га с 3-кратной повторностью, и в водные растворы (500 л/га) добавляли смачиватель ОП-10 в количестве 0,2 %. Опытные площадки размером 20 × 10 м примыкали непосредственно друг к другу в шахматном порядке, без разрывов между ними [3] (рис. 1); а в качестве единого контроля взята полоса шириной от 20 до 40 м с западной стороны опытного участка.

Опыты проведены в квартале 12 Лисинского лесничества (Ленинградская область) в несомкнувшемся 5—6-летнем молодняке состава 5Б4С1Ол.сер. Сплошное опрыскивание крон выполнено ручным пневматическим опрыскивателем 17 мая 1986 г. при температуре воздуха 15...18 °С, кучево-дождевой облачности и порывистом (временами до сильного) юго-западном ветре. Накануне весь день шел дождь. Обмеры высот и приростов на опытных площадках у доминирующих деревьев березы и всех неповрежденных лосями сосен выполнены осенью 1986 г. Деревья в контроле представлены более высокими экземплярами. Данные обработаны на ЭВМ и показаны в таблице.

Зависимость прироста деревьев в высоту от дозы гидрела (среднее из трех повторностей)

Номер варианта (доза, л/га)	Число обмеренных деревьев	Высота осенью 1986 г., см	Прирост в высоту, см			
			До опыта (1985 г.)		После опыта (1986 г.)	
			см	% от контроля	см	% от контроля
<b>Береза</b>						
1	99	156 ± 2,8	33,6 ± 1,06	102,7	10,2 ± 0,77	32,8
2	124	160 ± 2,7	30,6 ± 0,99	93,6	6,1 ± 0,30	19,7
3	72	156 ± 4,0	32,4 ± 1,47	99,1	6,1 ± 0,67	19,6
4	83	158 ± 3,4	36,2 ± 1,24	110,7	3,4 ± 0,42	10,9
5	81	148 ± 3,0	30,2 ± 1,34	92,3	1,2 ± 0,19	3,8
Контроль	58	176 ± 3,4	32,7 ± 1,38	100	31,1 ± 1,83	100
<b>Сосна</b>						
1	38	136 ± 6,0	25,0 ± 1,04	82,5	31,5 ± 1,17	88,5
2	38	135 ± 7,1	27,2 ± 1,28	89,8	30,2 ± 1,68	84,8
3	29	138 ± 6,4	26,8 ± 1,50	88,4	29,5 ± 1,57	82,9
4	28	135 ± 9,3	27,1 ± 1,39	89,4	27,8 ± 1,88	78,1
5	27	135 ± 6,0	27,8 ± 1,30	91,7	23,4 ± 1,48	65,7
Контроль	35	150 ± 6,2	30,3 ± 1,34	100	35,6 ± 1,27	100

Из показателей таблицы следует, что во всех вариантах до опыта высота и прирост в высоту деревьев сосны были ниже, чем в контроле, а прирост деревьев березы примерно соответствовал контрольному. После обработки различными дозами препарата в первый же год прирост деревьев сосны в высоту в варианте дозы 1 л/га усилился, а в других — пропорционально уменьшился, но незначительно. Исключение составляет доза гидрела 5 л/га, при которой рост сосны существенно снизился, и ее можно считать критической.

У деревьев березы все дозы резко затормозили рост, но опрыскивание растворами препарата 2 и 3 л/га вызвало одинаковый эффект торможения (как и у деревьев сосны). С лесоводственной точки зрения, чувствительность деревьев к этим дозам одинакова.

Регрессионная зависимость прироста в высоту деревьев от дозы препарата показана графически на рис. 2. Для березы она почти линейная, моделируется слабоогнутой параболой, для сосны — выпуклой кривой 2-го порядка. Между указанными признаками существует тесная корреляционная связь: коэффициент корреляции составляет — 0,96... — 0,97. Таким образом, при опрыскивании крон 5—6-летнего молодняка водными растворами технического препарата гидрела, содержащего 40 % действующего вещества, с добавлением смачивателя (поверхностно-активного вещества) наиболее эффективны дозы 1...2 л/га.

Ранее [1] было отмечено, что деревья мелколиственных пород реагируют на обработку ретардантами индивидуально: часть из них резко замедляет прирост в высоту, часть — почти не проявляет заметной чувствительности (таких очень мало), а некоторые вообще теряют способность к росту в год обработки. Каким образом это явление соотносится с дозами ретардантов, показано на примере гидрела на рис. 3.

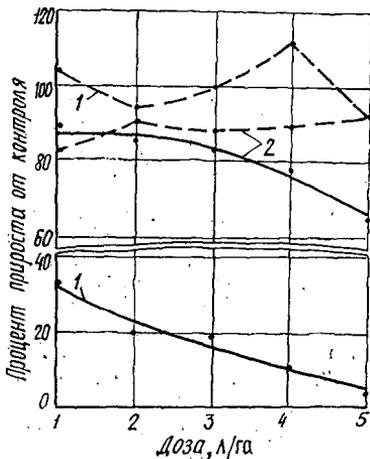


Рис. 2. Зависимость прироста деревьев в высоту от доз гидрела: штриховая линия — прирост до опыта; сплошная — после опрыскивания; 1 — береза;  $y = 38,92 - 8,03x + 0,23x^2$ ;  $r = -0,97$ ; основная ошибка 15%; 2 — сосна;  $y = 85,54 + 3,47x - 1,44x^2$ ;  $r = -0,96$ ; основная ошибка 2%

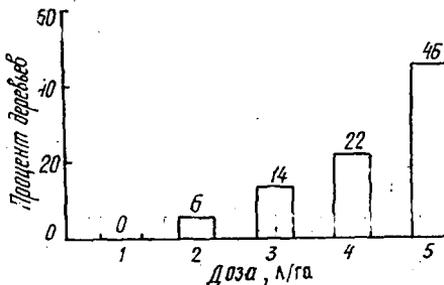


Рис. 3. Процент деревьев березы, полностью утративших способность роста в высоту в первый год после опрыскивания крон различными дозами гидрела

Из данных рис. 3 следует, что чем выше доза гидрела, тем больший процент деревьев березы утрачивает способность к росту в высоту. Эта зависимость аппроксимируется кривой 3-го порядка вида

$$y = -16,4 + 22,9x - 7,93x^2 + 1,17x^3,$$

где  $x$  — доза препарата, л/га (независимый признак);

$y$  — процент деревьев березы, прекративших рост в год обработки (зависимый признак).

Для дозы 1 л/га таких деревьев нет, а в варианте обработки 5 л/га их количество наибольшее (46%). Некоторые из них начинают «суховеершинить», и часть отмирает на 2—3-й годы. Таким образом, некоторые ретарданты (гидрел, дигидрел) при применении высоких доз по характеру действия приближаются к арборицидам (например к кренайту). Это подтверждает, что резкое разграничение между ними (при данной степени изученности процессов внутри экосистемы дерева) условно. Мы имеем дело с «черным ящиком» [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Алексеев В. А. Влияние этиленвыделяющих регуляторов роста на хвойные породы в молодняках // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. тр.—Л.: ЛТА, 1985.—С. 7—13. [2]. Алексеев В. А. Некоторые вопросы теории и практики применения регуляторов роста для уходов за молодняками // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. тр.—Л.: ЛТА, 1988.—С. 16—21. [3]. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта.—4-е изд.—М.: Колос, 1979.—416 с. [4]. Химические, биологические средства защиты растений и регуляторы роста // Картофель и овощи.—1987.—№ 2.—С. 44—48; № 3.—С. 35—40.

УДК 630\*306 : 519.2

## ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПРОФИЛЕЙ ВЫРУБОК

А. А. ГОЙДЕНКО, А. Ф. АЛЯБЬЕВ

Северокавказская ЛОС, ВНИИЛМ

Неровности поверхности вырубок являются основным источником колебаний трактора и ведут к ухудшению его эксплуатационно-технических свойств. Для получения оценок статистических характеристик микропрофиля вырубок нами проведены измерения на территории Опытного лесничества Майкопского лесокомбината. До рубки насаждение имело состав 9Д1Г (80—100) + Гр (60), средняя высота деревьев 24 м, средний диаметр 26 см. Профиль снимали на нерасчищенной вырубке с помощью геодезического нивелира [2]. Каждая реализация содержала более 400 измерений с шагом 0,1 м, длина которого позволяла учитывать даже небольшие пни. Микропрофили регистрировали парами: первый — второй и третий — четвертый с расстоянием между ними 2,5 м. Материалы обрабатывали на вычислительной машине ЕС-1033. Чтобы исключить влияние макрорельефа местности, реализации микропрофилей аппроксимировали полиномом первой степени по программе полиномиальной регрессии. В дальнейшем остатки аппроксимации рассматривали как реализации микропрофилей. Нормированные корреляционные функции и спектральные плотности вычисляли по алгоритму из [1] по программе PCORSPC. Шаг квантования принят 0,1 с, что соответствует скорости движения агрегата 1 м/с. Графики нормированных корреляционных функций  $\rho(X_s)$  в зависимости от пути  $X_s$  показаны на рис. 1.

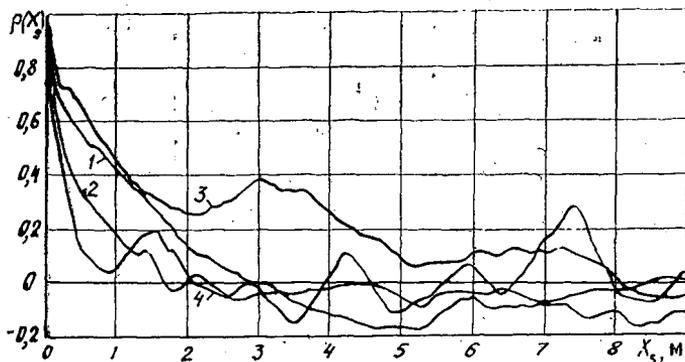


Рис. 1. Графики нормированных корреляционных функций  $\rho(X_s)$  в зависимости от пути  $X_s$  для номеров микропрофилей 1—4

Вид кривых  $\rho(X_s)$  показывает, что в изменениях неровностей, помимо случайной части, имеются и периодические составляющие.

Время (расстояние) спада корреляционной функции второй реализации составляет 1,8 м, четвертой — 8,1 м. Быстрое затухание степени связи во второй реализации микропрофиля объясняется наличием часто встречающихся пней и порубочных остатков.

Из рисунка видно, что с увеличением пути  $X_s$  корреляционная функция  $\rho(X_s)$  по модулю неограниченно убывает, что является достаточным условием эргодичности стационарной случайной функции по отношению к математическому ожиданию. Поэтому микропрофили вырубок можно рассматривать как случайные стационарные функции, обладающие эргодическим свойством по отношению к математическому ожиданию. Однако проверка значений микропрофиля на нормальность распределения по критерию  $\chi^2$  показала, что закон распределения отличен от нормального ( $\chi_{1P}^2 = 596$ ;  $\chi_{2P}^2 = 82$ ;  $\chi_{3P}^2 = 141$ ;  $\chi_{4P}^2 = 497$  при  $\chi_{20; 0,05}^2 = 30,14$ ). Это свидетельствует о том, что стационарная случайная функция  $X_s(S)$  не обладает эргодическим

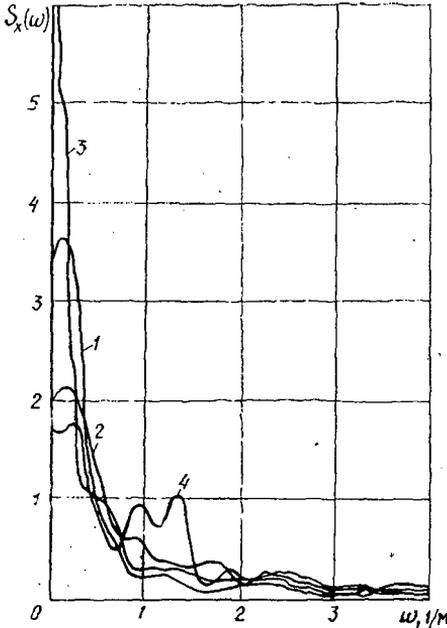


Рис. 2. Нормированные спектральные плотности микропрофилей вырубок. Обозначения см. на рис. 1

свойством по отношению к корреляционной функции, т. е. каждая отдельная реализация микропрофиля не дает возможности судить о корреляционной функции всей совокупности реализаций.

Значения нормированной корреляционной функции аппроксимировали по программе PAPROC следующим выражением:

$$\rho(\tau) = e^{-\alpha v |\tau|} \cos 2\pi \omega_0 \tau,$$

где  $\tau = \frac{X_s}{v}$ ;  $\omega_0 = f_0 v_0$ .

Коэффициент  $\alpha$  характеризует скорость убывания корреляционной функции, а  $f_0$  — частоту ее колебаний. Численные значения дисперсии, средних квадратичных отклонений  $\sigma_z$ , интервалов корреляции  $X_0$ , а также коэффициентов  $\alpha$  и  $f_0$  приведены в таблице.

Показатели микропрофиля вырубки

Номер кривой	$D$ , м <sup>2</sup>	$\sigma_z$ , см	$X_0$ , м	$\alpha$ , 1/м	$f_0$ , 1/м
1	106,00	10,3	3,2	0,4550	0,0831
2	20,55	4,5	1,8	0,1131	0,1389
3	88,74	9,4	8,1	0,1655	0,0451
4	75,03	8,7	2,3	0,1156	0,1250

Следует отметить, что микропрофилю с малыми по длине неровностями соответствуют большие коэффициенты, и наоборот.

На рис. 2 представлены нормированные спектральные плотности, соответствующие рассматриваемым реализациям микропрофиля вырубки. Поскольку неровности — линейные объекты, то функции спектральной плотности описаны в единицах линейной частоты (радианах на длину), а не в единицах временной частоты. Аппроксимацию спектральной плотности проводили по программе PAPROC выражением

$$S_x(\omega) = \frac{\alpha v}{\alpha^2 v^2 + 2\pi(\omega + \omega_0)^2} + \frac{\alpha v}{\alpha^2 v^2 + 2\pi(\omega - \omega_0)^2}.$$

Вид кривых  $S_x(\omega)$  показывает, что основная доля дисперсии приходится на диапазон частот от 0 до 2 м<sup>-1</sup>, т. е. наблюдается неблагоприятный низкочастотный спектр.

### Выводы

1. Микропрофили вырубок отличаются неровностями, средние квадратичные отклонения которых достигают 10 см.

2. Статистические свойства микронеровностей вырубок изменяются от участка к участку, и для получения достоверных сведений об этих свойствах по каждому фону необходимо производить осреднение из множества реализаций.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. — М.: Мир, 1971. — 316 с. [2]. Лурье А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. — М.: Колос, 1981. — 375 с.

УДК 630\*378.3

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО ПЛОТОВОГО ЛЕСОСПЛАВА

С. Х. БУДЫКА, М. К. ЗМУШКО, Т. В. КУЛИК

Белорусский технологический институт

Исследования кафедры транспорта леса БТИ показали, что на многих реках экономически целесообразно вместо молевого организовать плотовой лесосплав плоской сплотки. Это позволит значительно снизить потери древесины от утопа и улучшить санитарное состояние рек, вовлечь в сферу производства большие запасы листовых пород и лиственницы [2, 4].

Плоты плоской сплотки не получили широкого распространения из-за отсутствия машин для механизации процесса изготовления сплоточных единиц. В настоящее время плоская сплотка производится в небольших объемах на ряде рек СССР (Вятке, Чепце, Ветлуге, Унже, Десне, Припяти, Соже, Западной Двине, Сухоне и др.).

Для замены ручной сплотки механизированной машинной разработаны машины двух типов [1, 3].

Машина первого типа (ЛР-124) внедрена на р. Вятке и Сухоне. Она производит сплотку под гибкую (трос) или жесткую (бревно) ромжины однорядных, двухрядных и микропучковых сплоточных единиц (линеек) из древесины хвойных и листовых пород. При вязке под жесткую ромжину получается непрерывная лента. Затем она разделяется на отдельные сплоточные единицы, из которых формируются линейки-плоты; при вязке под гибкую ромжину получают линейки необходимой длины, из которых формируют плоты.

Машина второго типа представляет собой сплоточную установку, которая связывает проволокой однорядные, двухрядные и микропучковые сплоточные единицы (линейки) любой длины методом бесконечной спирали. Испытания экспериментального образца машины проводили на р. Унже.

Для широкой замены молевого лесосплава плотовым целесообразно вслед за ранневесенним плотовым пучковым лесосплавом организовать плотовой плоской сплотки, что позволит значительно увеличить продолжительность сплавного периода.

Рассмотрим в качестве примера по совершенствованию технологии лесосплава реки Верхневятского бассейна объединения Вятлесослав.

Ранневесенний плотовой лесосплав в Верхневятском бассейне проводится по принципу «неограниченной» лесопропускной способности рек в весенний период.

На р. Вятке существующая технология складывалась в течение длительного периода и в настоящее время представлена плотовым и молевым лесосплавом, которые проводятся в два этапа:

первый этап — плотовой пучковый лесосплав древесины листовых и хвойных пород в объеме 1 200...1 600 тыс. м<sup>3</sup> за 15...20 дн;

второй этап — молевой сплав только хвойных пород и в небольших объемах плотовой лесосплав плоской сплотки листовых пород.

Основные недостатки существующей технологии:

значительные потери качества древесины листовых пород из-за длительных сроков хранения в ожидании навигации последующего года;

загрязнение в местах отстоя доставляемой в ранневесенний период древесины из-за невозможности ее своевременной выгрузки;

значительные потери древесины из-за аварий плотов, вызванных наличием свальных течений и интенсивным падением уровней воды во время ранневесеннего лесосплава, а также потери от утопа при молевом лесосплаве;

потери качества древесины от обсушки плотов на плотбищах и в пути.

ЦНИИ лесосплава предлагает осуществить реконструкцию лесосплава по р. Вятке частичным переводом молевого лесосплава в ранневесенний плотовой и сохранить его на перспективу в объеме 2 300...2 400 тыс. м<sup>3</sup> в год. Однако фактические объемы (1 500...1 650 тыс. м<sup>3</sup> в год) ранневесеннего лесосплава превышают расчетную 95 %-ю обеспеченность, при этом наблюдаются случаи обсушки плотов на плотбищах и на плаву. Общие объемы лесосплава снижаются в результате резкого уменьшения молевого лесосплава, ввиду сокращения поступления на нижние склады хвойных пород древесины. Такая тенденция сохранится и на ближайшие годы.

Была поставлена задача найти оптимальный вариант технологии, который позволит сохранить планируемые на перспективу объемы лесосплава в Верхневятском бассейне на уровне 2 300...2 400 тыс. м<sup>3</sup> в год. Это может быть достигнуто преиму-

ственно за счет компенсации ресурсов хвойных пород, идущих в лесосплав, лиственными. В предыдущие годы проводились условно-сплошные рубки и значительные объемы лиственных пород древесины оставались на лесосеке. Замена молевого лесосплава плотовым плоской сплотки позволяет решить поставленные задачи. Установлены рациональные соотношения между видами плотового лесосплава и их продолжительность; разработана технология плотового послеранневесеннего первоначального лесосплава.

В соответствии с инструкцией по проектированию лесосплавных предприятий [5] расчетная обеспеченность доставки древесины для ранневесеннего лесосплава принята 95 %, послеранневесеннего — 90, %.

Название переката	Опорный водомерный пост	Минимальный уровень над нулем графика, соответствующий $H_{\text{спл}}^*$ на перекате, см	Продолжительность стояния лесосплавного уровня, дни	Осадка плота, м
Летский (р. Вятка, р. Летка)	Слободской	280	8	1,8
		4	131	0,56
Черно-Холуницкий (р. Вятка)	Усатьевская	373	11	1,8
		223	28	0,56
Нижнегагаринский (р. Кобра)	Усатьевская	336	13	1,8
		Тюрюханы	16	53
Собаковский (р. Чепца)	Градоби	550	5	1,8
		103	72	0,5

\*  $H_{\text{спл}}$  — минимальный уровень по принятому опорному водомерному посту над нулем графика, при котором гарантировано прохождение плотов через лимитирующий створ (в нашем случае — перекаты).

При определении продолжительности стояния лесосплавных уровней ограничили выбором расчетных сечений на лимитирующих перекатах, устанавливали отметки, соответствующие критической глубине, а затем по многолетней кривой обеспеченности продолжительности стояния лесосплавных уровней принимали срок ранневесеннего (числитель) и послеранневесеннего (знаменатель) лесосплава расчетной обеспеченности (см. таблицу).

По приведенным данным расчетная продолжительность ранневесеннего лесосплава принята 8 дни, тогда пропускная способность в соответствии с инструкцией ( $\text{м}^3$ ):

$$N_{\text{сез}} = \frac{24T_p KW}{S_t},$$

где  $W$  — объем плота для рек первоначального лесосплава, 8 000  $\text{м}^3$ ;

$T_p$  — расчетная продолжительность периода лесосплава, 8 дни;

$S_t$  — средний интервал между буксируемыми плотами, 1,4 ч;

$K$  — коэффициент использования суток, равный единице.

С учетом лесосплава по р. Чепце и Летке, общий объем ранневесеннего лесосплава в Верхневятском бассейне принят 1 400 тыс.  $\text{м}^3$  в год.

Расчетная продолжительность послеранневесеннего лесосплава для р. Кобры, Чепцы и Вятки выше устья р. Кобры принята 50 дни (на Черно-Холуницком перекате за проектироваными мелiorативными работами), на р. Вятке ниже устья р. Кобры — 200 дни, на р. Летке послеранневесенний лесосплав не проводится. В общем на лесосплав в плотах плоской сплотки рекомендуется переключить 900... 1 000 тыс.  $\text{м}^3$  древесины, в том числе 550... 650 тыс.  $\text{м}^3$  лиственных пород.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Будыка С. Х., Бурмейстер О. С. Плоская сплотка машиной ЛР-124 // Лесн. пром-сть. — 1982. — № 5. — С. 27. [2]. Будыка С. Х., Змушко М. К., Макаревич В. С. Транспортно-технологические схемы замены молевого сплава плотовым. — Минск: Вышэйш. школа, 1979. — Вып. 9. — С. 93—100. [3]. Будыка С. Х., Козлов В. Н. Технология и механизация лесосплава в плотах плоской сплотки // Лесозэксплуатация и лесосплав: Реф. журн. — 1984. — № 9. — С. 9—10. [4]. Будыка С. Х., Красник М. Г. О перспективах развития первоначального сплава плоской сплотки // Механизация лесоразработок и транспорт леса. — Минск: Вы-

пейш. школа, 1972.— Вып. 2.— С. 13—16. [5]. Инструкция по проектированию лесосплавных предприятий.— Л., 1978.— 295 с.

УДК 674.09.002.03

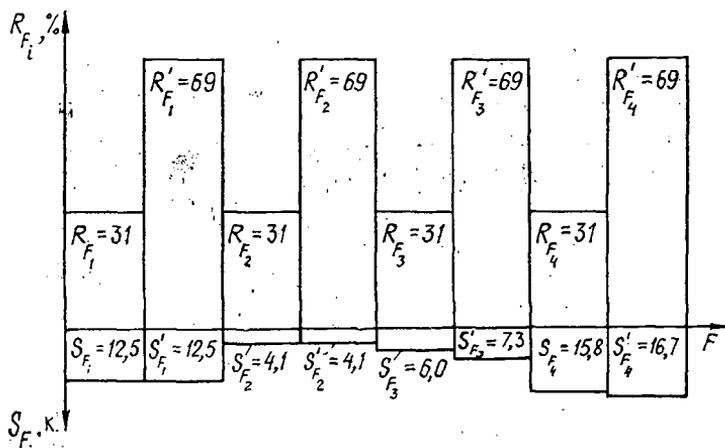
## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ю. Ф. ВОРОНЦОВ, В. С. ЯСИНСКИЙ

Архангельский лесотехнический институт  
Ленинградская лесотехническая академия

Интенсификация лесопильного производства требует значительного повышения производительности оборудования, снижения расхода сырья на единицу продукции, экономии живого и овеществленного труда. Для этого необходимо решить ряд организационных и технических задач. В условиях ограниченного выделения капитальных вложений одной из задач является совершенствование технологии подготовки пиловочного сырья к распиловке. В этих целях нами использован метод функционально-стоимостного анализа (ФСА). Анализ показал, что существующую технологию надо совершенствовать путем замены признака сортировки сырья на лесозаготовительных и сплавных предприятиях.

На схеме представлены затраты на производственные операции ( $S_{F_i}$ ) и их относительная важность ( $R_{F_i}$ ), где  $R_{F_1}$ ,  $R_{F_2}$ ,  $R_{F_3}$ ,  $R_{F_4}$  — технологические функции: сортировка, сплотка, формирование и буксировка пиловочного сырья, рассортированного по группам длин;  $R'_{F_1}$ ,  $R'_{F_2}$ ,  $R'_{F_3}$ ,  $R'_{F_4}$  — те же функции пиловочного сырья, рассортированного по группам толщин (диаметров).



Относительная важность указанных функций определена на основании технико-экономических расчетов и социально-экономического анализа рассматриваемых технологических вариантов подготовки пиловочного сырья к распиловке с помощью метода расстановки приоритетов.

В рамках ФСА нами была разработана методика определения эффекта и затрат, возникающих на различных стадиях процесса подготовки пиловочного сырья; рассчитаны дополнительные затраты при переходе на новую технологию (сортировка по группам диаметров); определен экономический эффект от увеличения производительности лесопильного оборудования.

Теоретические и экспериментальные исследования опытных плотов позволили установить некоторое уменьшение коэффициента их полнодревесности (до 5,4%), что делает необходимыми буксировку дополнительных плотов и приобретение судов-буксировщиков.

Теоретические и опытно-промышленные распиловки экспериментальных плотов на ряде Архангельских лесозаводов показали увеличение производительности лесопильного оборудования до 10% и рост объема партий пиломатериалов ведущего сечения до 45%.

Все это позволило комплексно оценить экономическую эффективность перехода на новую технологию подготовки пиловочника. Выполненные нами расчеты показали,

что себестоимость производства 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов в ПО Северолесэкспорт снижается на 1,63 р. Годовой экономический эффект на 1 м<sup>3</sup> при переходе на предлагаемую технологию составляет 1,61 р.

УДК 624.011 : 539.4

## О ДОСТОВЕРНОСТИ КРИТЕРИЯ БЕЙЛИ ПРИ ОЦЕНКЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Р. Б. ОРЛОВИЧ, А. Я. НАЙЧУК

Брестский инженерно-строительный институт

Длительную прочность древесины, работающей при сложных режимах нагружения, оценивают на основе критерия Бейли (принципа линейного суммирования повреждений) и кинетической концепции прочности С. Н. Журкова [5, 6].

$$\int_0^{t^*} \tau_0 \exp \left[ \frac{U_0 - \gamma \sigma(t)}{kT(t)} \right] dt = 1, \quad (1)$$

где  $\tau_0$  — постоянная, по порядку величин близкая к периоду собственных колебаний атомов ( $10^{-13}$  с);  
 $U_0$  — энергия активации процесса разрушения;  
 $\gamma$  — структурный коэффициент;  
 $\sigma(t)$  и  $T(t)$  — переменные во времени  $t$  напряжение и температура;  
 $k$  — постоянная Больцмана.

Достоверность (1) подтверждена при испытании возрастающей с постоянной скоростью нагрузкой, когда экспериментальные точки располагаются на прямой  $\lg t(\sigma)$  длительной прочности:

$$t^* = t'_1 / (2,3 \lg A - \lg t), \quad (2)$$

где  $t^*$  — время до разрушения при постоянном напряжении;  
 $t'_1$  — продолжительность испытаний при возрастающем напряжении.

При более сложных режимах нагружения, в том числе и циклических [3], соответствующих реальному поведению древесины в изделиях, достоверность (1) подтверждена при выполнении условия [4]:

$$t_{\text{п}}^* = t_{\text{ст}}^*, \quad (3)$$

где  $t_{\text{ст}}^*$  — статическая долговечность древесины, работающей при непрерывном действии амплитудных напряжений  $\sigma_0$ ;  
 $t_{\text{ц}}^*$  — циклическая долговечность, определяемая из выражения:

$$t_{\text{ц}}^* = N_{\text{ц}} t_0 I_0 \left( i \frac{\gamma \sigma_0}{2kT} \right) \exp \left( - \frac{\gamma \sigma_0}{2kT} \right). \quad (4)$$

Здесь  $I_0$  — функция Бесселя от мнимого аргумента;  
 $N_{\text{ц}}$  — число циклов;  
 $t_0$  — продолжительность одного цикла.

При многочисленных исследованиях искусственных полимеров установлено, что достоверность критерия (1), в основном, подтверждается, в то время как для природного полимера (древесины) таких данных нет [4]. В отдельных работах при циклических испытаниях деревянных образцов ступенчатой длительной нагрузкой была обнаружена существенная разница между  $t_{\text{ц}}^*$  и  $t_{\text{ст}}^*$  [2], которая возрастает с увеличением  $N_{\text{ц}}$  и зависит от вида напряженного состояния (сжатия, растяжения, изгиба). Практический интерес представляет обоснование достоверности (1) в условиях сложного напряженного состояния, в частности, в случае концентрации напряжений, обусловленной влиянием пороков и других структурных дефектов древесины.

Нами выполнены экспериментальные исследования, в которых достоверность (1) проверяли при различных режимах нагружения, видах напряженного состояния и влажности древесины. Испытаниям подвергали чистые сосновые образцы трех серий. Образцы серии I лопаточного типа сечением  $5 \times 20$  мм испытывали на центральное растяжение поперек волокон (в тангентальном направлении), а образцы серий II и III (балочки сечением  $20 \times 20$  мм) — на изгиб по четырехточечной схеме нагружения. В зоне чистого изгиба образцов III серии, со стороны растянутой зоны, были образованы пропилы глубиной 9 мм на всю ширину сечения, которые являлись концентратором напряжений. В вершине пропилов перпендикулярно плоскости изгиба

просверливали отверстия диаметром 2,7 мм, обеспечивающие стабильность концентрации напряжений для всех образцов.

Путем кратковременных испытаний части образцов предварительно определяли их прочность. Остальные образцы испытывали на длительное действие нагрузки (в виде балласта), которая изменялась во времени ступенями с одинаковой для каждого режима продолжительностью  $\Delta t_0$  (см. табл.). Постоянство равновесной влажности  $w$  древесины во времени обеспечивалось их герметизацией в запаянные полиэтиленовые пакеты. В этом случае критерий (1) записывали в виде [4]

$$\sum_{i=1}^n \Delta t_0 / t_i^*(\sigma) = 1, \quad (5)$$

где  $t_i^*(\sigma)$  — время до разрушения при постоянном напряжении  $\sigma$ , определяемое подынтегральным выражением (1).

Серия	Группа	Число образцов	Влажность $w$ , %	Режим нагружения	Продолжительность ступени $\Delta t_0$ , сут	Остаточная прочность $\sigma^*$ , МПа	$\sigma_{ср}^*$ , МПа	$\nu$ , %	$\Delta$ , %		
I	А	14	11	0,25 ... 0,3 ... 0,35	20	24,2	25,8	6,2	6,2		
		15		0,35 ... 0,3 ... 0,25	20	28,3				13,0	9,7
		15		0,3 ... 0,25 ... 0,35	20	25,0					3,1
	Б	15	20	0,25 ... 0,3 ... 0,35	20	18,6	17,6	5,7	4,1		
		15		0,35 ... 0,3 ... 0,25	20	16,9				8,0	1,7
		16		0,3 ... 0,25 ... 0,35	20	17,3					
II	А	15	10	0,4 ... 0,5 ... 0,6	18	62,2	65,2	4,6	0,6		
		14		0,6 ... 0,5 ... 0,4	18	65,6				9,4	4,0
		15		0,4 ... 0,6 ... 0,5	18	67,8					
	Б	13	19	0,4 ... 0,5 ... 0,6	18	47,2	47,4	0,4	3,2		
		15		0,6 ... 0,5 ... 0,4	18	48,9				7,1	2,8
		14		0,4 ... 0,6 ... 0,5	18	46,1					
III	А	19	12	0,38 ... 0,12 ... 0,27	12	63,7	62,36	2,1	4,1		
		20		0,27 ... 0,38 ... 0,12	12	59,8				11,8	2,0
		19		0,12 ... 0,27 ... 0,38	12	63,6					
	Б	8	10	0 ... 0,45 ... 0,34 ... 0,23	20	40,9	40,8	0,2	7,8		
		8		0,34 ... 0,23 ... 0 ... 0,45	20	37,6				14,0	14,9
		8		0,23 ... 0,34 ... 0,45 ... 0	20	46,9					
8		0,45 ... 0 ... 0,23 ... 0,34		20	37,9						

Проверка справедливости (5) заключалась в установлении влияния режима нагружения для каждой группы А и Б образцов (с одинаковой влажностью и видом напряженного состояния) на остаточную прочность  $\sigma^*$  [4]. Последнюю определяли по методу накопления повреждений — путем разрушения образцов кратковременной нагрузкой после их длительных испытаний [6]. Считали, что критерий (1) соблюдается в том случае, если остаточная прочность не зависит от режима нагружения — последовательности приложения ступеней нагрузки  $P$  различной интенсивности.

В таблице испытательная нагрузка  $P$  для каждой ступени дана в долях от кратковременной разрушающей. Остаточную прочность  $\sigma^*$  определяли с учетом фактических геометрических характеристик образцов: для серии I —  $\sigma_{I1}^* = P_p/F$ , II —  $\sigma_{II1}^* = M_p/W$ , III —  $\sigma_{III1}^* = M_p/W_{нт}$ , где  $M_p$  — изгибающий момент, при котором в зоне отверстия с помощью микроскопа наблюдалось образование трещины; последняя распространялась параллельно волокнам от совместно действующих скалывающих и растягивающих поперек волокон напряжений. Из-за пониженного длительного сопротивления и долговечности древесины поперек волокон [1] максимальный уровень испытательной нагрузки для образцов серий I и III принят значительно ниже, чем для серии II.

В результате статистической обработки экспериментальных данных определяли средние для каждой группы образцов значения остаточной прочности  $\sigma_{ср}^*$  и вариационного коэффициента  $\nu$ . Вычисляли относительную разницу  $\Delta = 100 (\sigma^* - \sigma_{ср}^*) / \sigma_{ср}^*$  между значениями  $\sigma^*$  и  $\sigma_{ср}^*$  в каждой группе образцов.

Из анализа табличных данных следует, что для всех серий и групп образцов величина  $\Delta$  находится в пределах статистического разброса опытных значений  $\sigma^*$ ,

т. е.  $\Delta < v$ . Это характерно и для группы Б серии III, образцы которой на одной из ступеней полностью разгрузались («отдыхали»).

Таким образом, установлена независимость остаточной прочности древесины от режимов ее нагружения, что подтверждает справедливость критерия (5). Последний, как и (1), можно с достаточной для инженерных расчетов точностью использовать для прогнозирования долговечности древесины в изделиях [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Иванов Ю. М., Славик Ю. Ю. Длительная прочность древесины при растяжении поперек волокон // Строительство и архитектура.— 1986.— № 10.— С. 22—26.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Квасников Е. Н. Вопросы длительного сопротивления древесины.— Л.: Стройиздат, 1972.— 95 с. [3]. Орлович Р. Б. Алгоритм прогнозирования долговечности деревянных элементов при нестационарных температурно-влажностных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений.— 1987.— № 2.— С. 12—16. [4]. Регель В. Р., Слущкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел.— М.: Наука, 1974.— 560 с. [5]. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций.— М.: Стройиздат, 1976.— 28 с. [6]. Фрейдин А. С., Вуба К. Т. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины.— М.: Лесн. пром-сть, 1980.— 224 с.

УДК 684.4.059

### СПОСОБ ДЕКОРИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ

Л. А. СУН-ЧЕН-ЛИ, В. Ф. КАЧАН, А. В. ФЕДАК

Львовский лесотехнический институт

В 70-е гг. в научно-технической литературе стали появляться сведения о ферромагнитных жидкостях (ФМЖ), особенностях их получения и уникальных свойствах. У нас в стране ФМЖ были получены и исследованы на кафедре коллоидной химии Ленинградского технологического института. В работах ряда авторов [1—4] подробно описаны способы получения ФМЖ и их физико-химические свойства.

ФМЖ представляют собой макроскопически однородную взвесь частиц твердого вещества (например,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) размером  $10^{-9} \dots 10^{-7}$  м в какой-либо жидкости и обладают необычным сочетанием свойств магнетиков, жидкостей и коллоидных растворов. При помещении ФМЖ в магнитное поле их вязкость заметно увеличивается при течении поперек магнитного поля и незначительно — при течении вдоль поля. Воздействие магнитного поля на ФМЖ изменяет их оптические свойства: пропускание, рассеяние света, поляризацию, двойное лучепреломление и дихроизм [3]. При изучении пропускания света через ферромагнитную жидкость в магнитном поле (магнитооптический эффект) впервые обнаружили, что внешнее магнитное поле значительно влияет на взаимодействие частиц в ФМЖ и образует цепи, ориентированные вдоль силовых линий магнитного поля.

ФМЖ широко используют в науке, технике и производстве. Их применяют в магнитожидких уплотнителях, для создания феррогидродинамических подшипников, магнитных смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей, феррожидкостных насосов, феррогидростатических сепараторов и т. д. [3], а также для исследований процессов твердения различных материалов [4].

В лаборатории отделки кафедры технологии изделий из древесины Львовского лесотехнического института были исследованы лакокрасочные композиции с ФМЖ. Оказалось, что они приобрели свойства магнетика, позволившие поступательным движением постоянного магнита под плоской деталью растягивать лакокрасочную композицию по ее поверхности. Если под деталью с нанесенной лакокрасочной композицией поместить постоянный магнит, то на ее поверхности образуется рельефный рисунок, отражающий направление и размещение магнитных силовых линий.

Полученные результаты позволили начать разработку нового способа декорирования фасадных поверхностей изделий мебели. Он представляет новое направление в декоративном оформлении изделий мебели: создание рельефного декора изделий мебели из лакокрасочных материалов, используемых в процессе отделки.

На начальной стадии были исследованы физико-химические и физико-механические свойства ферромагнитных лакокрасочных композиций (ФЛК).

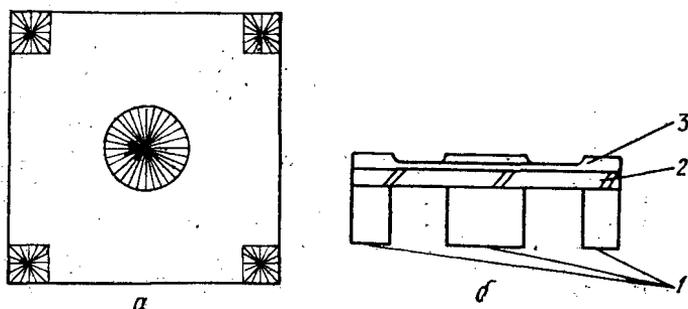
Для создания ФЛК применяли ФМЖ с намагнитенностью насыщения  $m = 24$  кА/м. При выборе ФМЖ исходили из экономических соображений: стоимость 1 кг ФМЖ с  $m = 24$  кА/м равна 1/3 стоимости 1 кг ФМЖ с  $m > 25$  кА/м. В качестве базового лакокрасочного материала применяли меламиновую эмаль МЛ-1195 (ТУ 6-10-1672—78). Исследовали композиции при 1...7 % массовом содержании ФМЖ, так как дальнейшее увеличение концентрации влечет за собой быстрое сокращение жизнеспособности ФЛК. Следующий этап исследований — разработка технологических параметров нового способа декорирования изделий мебели. К основным технологическим пара-

метрам способа отнесены: вязкость композиции, массовое содержание ФМЖ в композиции, толщина подложки (детали), напряженность внешнего магнитного поля, расход ФЛК за одно нанесение.

Предлагаемый способ декорирования изделий мебели заключается в следующем: на отделяемую деталь (из ДСП, ДВП, фанеры, металла и др.) наносят ФЛК, которую высушивают в позиционной камере при воздействии магнитного поля.

После нанесения ФЛК деталь с покрытием поступает в сушильную камеру (конвективную, терморadiационную, ультрафиолетовую и т. д.). Тип камеры зависит от вида базового лакокрасочного материала в композиции. В первой рабочей зоне происходит желатинизация покрытия и формируется декоративный рисунок при воздействии на ФЛК внешнего неоднородного магнитного поля. Поле создается постоянными электромагнитами, которые располагаются в камере под ленточным транспортером. При прохождении детали над электромагнитами транспортер останавливается с одновременным включением электромагнитов. Деталь с покрытием в первой рабочей зоне выдерживают до желатинизации (от 0,5 до 5 мин), что устанавливают экспериментально для каждого вида лакокрасочного материала.

Так как ФЛК имеет свойства магнетика, то действие внешнего магнитного поля формирует на поверхности покрытия рельефный декоративный рисунок, конфигурация которого находится в зависимости от формы электромагнитов, их взаимного расположения, а следовательно, от прохождения магнитных силовых линий (см. рис.).



а — рельефный декоративный рисунок на поверхности детали мебели; б — расположение набора магнитов 1 под деталью 2 (3 — покрытие)

Выдержав деталь в течение установленного времени в первой рабочей зоне, включают транспортер с одновременным отключением электромагнитов и деталь подают во вторую рабочую зону непрерывного действия для окончательной сушки (отверждения) покрытия с рельефным декоративным рисунком.

Показатель	Численные значения показателя для	
	базового материала	ФЛК
Массовый состав лакокрасочной композиции, части:		
эмаль МЛ-1195 (ТУ 6-10-1672—78)	100	100
ФМЖ ( $m = 24$ кА/м)	—	6
Вязкость рабочего состава, с	20...22	30...35
Содержание нелетучих веществ, %	$57 \pm 3$	62...64
Расход за одно нанесение, г/м <sup>2</sup>	140...160	140...160
Сушка покрытия:		
первая зона		
температура, °С	60...80	60...80
продолжительность выдержки, мин	10	5
вторая зона		
температура, °С	80...90	80...90
продолжительность прохождения, мин	15...20	8...10
Напряженность магнитного поля, кА/м	—	95...96
Адгезионная прочность при скорости нагружения 10 Н/с; МПа	2,02	2,43
Твердость покрытия (ГОСТ 5233—67), усл. ед.	Не менее 0,5	0,6
Прочность при изгибе (ГОСТ 6806—73), мм	Не более 3	Не более 3
Прочность при ударе (ГОСТ 4765—73), Н·см	Не менее 400	Не менее 400
Водостойкость покрытия (ГОСТ 9.403—80), ч	Не менее 48	Не менее 96
Блеск покрытия, %	Не менее 64	Не менее 64

Технологические параметры способа декорирования зависят от вида лакокрасочного материала в композиции и массовой концентрации ФМЖ. Рельефный декоративный рисунок дополняется оптическим эффектом. В области наиболее интенсивного действия внешнего магнитного поля на поверхности покрытия значительно увеличивается матовость.

Наблюдаемый постепенный переход от глянцевого покрытия к матовому обусловлен неоднородностью внешнего магнитного поля. Полученное декоративное покрытие не требует дальнейшего облагораживания.

В таблице представлены основные технологические параметры и физико-механические свойства покрытий, полученных при использовании в качестве базового лакокрасочного материала меламиновой эмали МЛ-1195. Эти покрытия характеризуются повышенными прочностными и декоративными свойствами.

Новый способ декорирования изделий мебели имеет ряд существенных преимуществ перед традиционными, которые широко используют на предприятиях отрасли: совмещение декорирования с процессом отделки деталей, что значительно экономит трудозатраты и упрощает технологический процесс;

не требуется дополнительных производственных площадей и специального оборудования, так как достаточно оснастить сушильную камеру постоянными электромагнитами;

максимальная механизация процесса декорирования деталей мебели и высвобождение ряда рабочих мест;

получение рельефного рисунка на поверхности покрытия с дополнительным оптическим эффектом (сочетание глянцевого и матового покрытий);

ускорение процесса сушки (отверждения) и повышение основных физико-механических свойств покрытий в среднем на 20 %.

Таким образом, новый способ декорирования изделий мебели позволяет получать рельефное декоративное покрытие с улучшенными физико-механическими свойствами, повысить производительность труда и культуру производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бирик Е. Е. Физические свойства и гидродинамика дисперсных ферромагнетиков.— Свердловск: УНЦ АН СССР, 1977. [2]. Бирик Е. Е., Алексеев А. И. Дисперсные системы и их поведение в электрических и магнитных полях // Межвуз. сб. тр.— Л.: ЛТИ.— 1976.— № 1.— 22 с. [3]. Бирик Е. Е., Бузунов О. В. Достижения в области получения и применения ферромагнитных жидкостей // Обзоры по электронной технике.— М.: ЦНИИ «Электроника».— 1979.— № 1. [4]. Бирик Е. Е., Лавров И. С., Скобочкин В. Е. Влияние механических свойств среды на намагниченность дисперсных ферромагнетиков // Коллоидн. журн.— 1970.— № 6.— С. 1387—1389.

УДК 667.64/65

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТОЛЩИНЫ ПРОЗРАЧНОГО ПОКРЫТИЯ

М. П. ГОРЕНЬКОВ

Архангельский лесотехнический институт

При прозрачной отделке мебели на ее поверхность наносят покрытие, имеющее целью повысить, главным образом, декоративные свойства, проявив текстуру древесины:

В литературных источниках мы не обнаружили метода определения толщины прозрачного покрытия, эффективно проявляющего текстуру подложки. С нашей точки зрения, для этой цели можно использовать теорию отражения света.

Как известно, рисунок древесины, на которую нанесено покрытие, характеризуется наличием открытых пор, перерезанных стенок клеток и структурных неровностей, что придает ему некоторую объемность. При падении света на такую поверхность он проходит через стенки полостей клеток, наполненных воздухом, многократно преломляется, отражается от поверхности стенок и неровностей. Претерпев многократное преломление и отражение на границе воздух—древесина, свет рассеивается, интенсивность отраженного света ослабляется, и отражение носит практически диффузионный характер.

Из теории отражения света [1, 4] известно, что для того, чтобы снизить интенсивность отраженного света поверхностными слоями древесины на границе воздух—древесина и обеспечить его прохождение в полости клеток и пор, выявив объемность и текстуру, следует нанести поверхностную пленку с коэффициентом преломления меньшим, чем для древесины.

Оптическая схема применяемых в настоящее время прозрачных покрытий в основном удовлетворяет этому требованию. При падении света на поверхность он отражается, а сам характер отражения, как следует из работы [3], определяется интерференцией света в покрытии и зависит от разности хода лучей, которую вносит оптическая толщина покрытия на их пути.

Коэффициент отражения определяют из следующего выражения [3]:

$$R_{1-3}^\lambda = \frac{r_{1-2}^2 + r_{2-3}^2 + 2r_{1-2}r_{2-3} \cos\left(-\Delta_{1-2} + \Delta_{2-3} - \frac{4\pi nh}{\lambda}\right)}{1 + r_{1-2}^2 + r_{2-3}^2 + 2r_{1-2}r_{2-3} \cos\left(\Delta_{1-2} + \Delta_{2-3} - \frac{4\pi nh}{\lambda}\right)}$$

где  $R_{1-3}^\lambda$  — коэффициент отражения света от границы воздух — древесина для соответствующей длины волны;  
 $r_{1-2}$  и  $r_{2-3}$  — Френелевские коэффициенты;  
 $n$  — показатель преломления покрытия;  
 $h$  — толщина покрытия.

Как видно из приведенного уравнения, изменение коэффициента отражения может быть следствием изменения толщины покрытия  $h$  или длины волны падающего света  $\lambda$ . Учитывая, что длина волны падающего света (для среднего диапазона спектра света  $\lambda = 589$  нм) принимается постоянной (при которой определяется показатель преломления покрытия и подложки), коэффициент отражения будет периодической функцией аргумента:

$$R_{1-3}^\lambda = f\left(\pm \Delta_{1-2} + \Delta_{2-3} - \frac{4\pi nh}{\lambda}\right),$$

т. е. будет зависеть от толщины наносимого покрытия.

Здесь  $\Delta_{1-2}$  и  $\Delta_{2-3}$  — фазы Френелевских коэффициентов первой и второй поверхностей.

При одних значениях толщины покрытия коэффициент отражения имеет максимальные значения, а при других — минимальные.

Толщина покрытия, при которой коэффициент отражения на границе воздух — древесина минимальный, и будет эффективной, обеспечивающей максимальное проявление текстуры древесины.

Следовательно, зная показатель преломления древесины и пленки лака, формирующего покрытие, и приняв длину волны постоянной, можно вычислить коэффициент отражения света от границы воздух — древесина для различных толщин покрытия.

Таблица 1

Угол падения света, град				
$\varphi = 0$	$\varphi = 45$	$\varphi = 60$	$\varphi = 75$	$\varphi = 85$
Толщина покрытия, мкм				
$h$	$h$	$h$	$h$	$h$
179	201	216	229	233
190	213	229	242	247
210	225	242	256	262
212	238	255	270	276
223	250	268	284	290
233	262	281	298	304
244	274	294	312	318
255	286	307	326	332
266	299	320	339	346
277	311	333	353	360
288	323	340	367	375
299	335	359	381	389

Коэффициенты отражения света от границы воздух — древесина определяли для лаков ПЭ-246, НЦ-218, НЦ-243, МЧ-52, УР-277, нанесенных на различные породы древесины при падении света под углом 0°, 45°, 60°, 75°, 85°. Показатели преломления лаковых покрытий и древесины различных пород определяли по методике [2]. Учитывая сложность расчетов, составили программу для ЭВМ.

Анализ выданных машинной расчетных значений  $R_{1-3}^\lambda$ , показывает, что коэффициент отражения света изменяется синусоидально, достигая максимального и минимального значений при соответствующих толщинах покрытий.

Учитывая, что максимальное проявление текстуры наблюдается при минимальном  $R_{1-3}^\lambda$ , то из всего многообразия полученных толщин были выбраны определенные значения, соответствующие минимальному  $R_{1-3}^\lambda$  при различных углах падения света.

В табл. 1 приведены расчетные толщины покрытий полиэфирного лака ПЭ-246, обеспечивающие максимальное проявление текстуры поверхности ясеня при различных углах падения

света. Как следует из табл. 1, толщина  $h$  эффективного прозрачного покрытия зависит от угла падения света, т. е. восприятие декоративных свойств древесины (объемность, ее текстура) зависит от положения наблюдателя; особенно это заметно для углов падения света более 45°.

Это подтверждается также в работе [3], где установлено, что угол падения света, изменяющийся до 45°, не оказывает влияния на толщину эффективного покрытия.

Учитывая вышесказанное, а также и то, что ВНПО «Мебель» рекомендует при визуальной оценке поверхности образца располагать его под углом к свету  $45^\circ$ , нами угол падения света принят равным  $45^\circ$ .

Таблица 2

Порода древесины	Марка лака	Толщина прозрачного покрытия, мкм	
		расчетная	эффективная
Ясень } Бук } Дуб }	ПЭ-246	201, 213, 238, 250, 262, 274, 311	250...300
Ясень } Бук } Дуб }	НЦ-218	19, 31, 44, 56, 69	30...40 или 60...70
Ясень } Бук } Дуб }	НЦ-243	19, 31, 44, 56, 69	30...40 или 60...70
Ясень } Бук } Дуб }	УР-277	18, 30, 43, 55, 67	30...40 или 60...70

В табл. 2 приведены значения эффективных толщин покрытий различных лаков, нанесенных на поверхность ясеня, дуба, бука при угле падения света  $45^\circ$ . Для сравнения в этой таблице даны толщины прозрачных покрытий этих же лаков, рекомендуемых для предприятий ВНПО «Мебель». Из данных табл. 2 видно, что толщина покрытия, обеспечивающая максимальное проявление текстуры древесины, имеет строго определенное значение. Полученные значения толщин отличны от рекомендуемых ВНПО «Мебель».

Предлагаемый метод позволяет более точно подойти к определению эффективной толщины прозрачного покрытия.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Буглай Б. М. Технология отделки древесины.— М.: Лесн. пром-сть, 1973.— 303 с. [2]. ГОСТ 19927—74. Пластмассы. Методы определения показателя преломления.— Введ. 01.07.75 до 01.07.80. Группа Л29. Продлен до 01.07.92. [3]. Крылова Т. Н. Интерференционные покрытия.— М.: Химия, 1973. [4]. Просветление оптики / И. В. Гребенщиков, А. Г. Власов, Б. С. Непорент и др.— М.; Л.: Гостехиздат.— 1946.

УДК 630\*79

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО И СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Р. П. СЕМЕНОВА

Архангельский лесотехнический институт

Главная задача любого предприятия заключается в удовлетворении потребностей народного хозяйства и населения в продукции с высокими потребительскими свойствами и качеством при минимальных затратах. В новых условиях достижение этой цели должно сочетаться с ростом благосостояния трудового коллектива.

Насколько удастся совместить решение этих двух задач, показано на примере одного из наиболее технически оснащенных предприятий лесопильной промышленности — Экспериментально-производственного завода «Красный Октябрь», входящего в состав Союзанаучдревпрома. Основные показатели его работы приведены в табл. 1.

Наращивание объемов производства должно сопровождаться постоянным повышением качества изделий и услуг в соответствии с запросами потребителей. В лесопилении высшую категорию качества имеют экспортные пиломатериалы. Выпуск экспортной пилопродукции на заводе в 1985 г. составил 110 тыс. м<sup>3</sup>, что на 7 % выше, чем в 1975 г., и на 18 %, чем в 1965 г.

При повышении выхода пиломатериалов на 1 % товарная продукция увеличивается на 250 тыс. р., а прибыль на 30 тыс. р. Соответственно возрастает часть

Таблица 1

Динамика основных показателей работы предприятия

Показатель	1965	1975	1985
Производство основных видов продукции в натуральном выражении, тыс. м <sup>3</sup> :			
пиломатериалы	130	145	157
щепа технологическая	36	85	103
конструкции клееные деревянные	—	1,5	4,1
Товарная продукция в действующих оптовых ценах предприятий, тыс. р.	5 277	9 851	18 036
Затраты на 1 р. товарной продукции, к.	105,9	91,8	83,98
Балансовая прибыль (убыток), тыс. р.	—363	910	2 902

Таблица 2

Распределение прибыли, тыс. р.

Показатели	1986 г. (до пере- хода на полный хозрасчет)	1988 г. (в условиях полного хозрасчета)
Прибыль	2 944	3 093
Плата за производственные фонды	1 290	402
Плата за трудовые ресурсы	—	426
Уплата процентов за краткосрочный кредит	90	106
Отчисления от прибыли в государственный бюджет	460	109
Прибыль, направленная по нормативам в фонды экономического стимулирования (ФЭС)	1 104	2 050
В том числе:		
фонд социального развития (ФСР)	706	1 302
фонд материального поощрения (ФМП)	204	490
фонд развития производства, науки и техники (ФРПНТ)	194	258
ФРПНТ, включая амортизационные отчисления на полное восстановление основных фондов, выручку от реализации выбывшего и излишнего имущества	669	733

прибыли, оставляемая в распоряжении предприятия, которая используется им на собственные нужды (табл. 2).

За счет средств фонда материального поощрения осуществляется премирование за достижение высоких показателей эффективности производства, прежде всего, за выполнение заданий по поставкам продукции и повышению ее качества. Производится единовременное поощрение работников за выполнение особо важных производственных заданий, премирование по итогам соцсоревнования.

Средства фонда развития производства, науки и техники направлены (тыс. р.): на финансирование затрат по техническому перевооружению, реконструкции и расширению действующего производства — 30;

проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных работ, финансирование затрат на приобретение оборудования, приборов и других товарно-материальных ценностей для этих работ — 40;

прирост собственных оборотных средств и возмещение их недостатка — 30;

финансирование затрат по участию в строительстве, реконструкции, ремонте и содержании местных автомобильных дорог — 20;

развитие подсобного сельского хозяйства — 15;

погашение долгосрочных кредитов банка — 10;

частичное возмещение затрат по подготовке молодых специалистов — 3;

приобретение машин и оборудования, не входящих в сметы строительства — 15; в фонд социального развития на строительство жилых домов — 95.

Фонд социального развития направляется:

на содержание детских дошкольных учреждений — 235;

погашение убытков ЖКХ — 550;

содержание объектов культурно-бытового назначения (клуб, база отдыха, пионерский лагерь) — 59;

выплату разницы в ценах на топливо и покупную теплоэнергию — 73;  
питание в столовой работников, проходящих курс лечения в профилакториях, — 29;  
приобретение путевок, содержание медпункта — 38;  
содержание легкового транспорта — 62;  
строительство жилых домов — 256.

Всего на строительство жилья в ФЭС предусмотрено 355 тыс. р., что составляет 17,3 %. За 9 месяцев 1988 г. получена сверхплановая прибыль 32 тыс. р.

Из табл. 1 видно, что завод имеет хорошие показатели себестоимости продукции; рентабельность составляет 17,6 %. По сравнению с 1986 г. почти вдвое возросла сумма прибыли, направленная в фонды экономического стимулирования. Однако ее «покупательная способность» для трудового коллектива недостаточна, о чем можно судить хотя бы из такого сопоставления. Стоимость 90-квартирного дома 3 млн р., т. е. для начала строительства надо иметь 1,5 млн р. Согласно смете расходования фонда социального развития и фонда развития производства науки и техники, завод может накопить средства для начала строительства за 4 года, а для окончания за 9 лет. В связи с этим встает вопрос о необходимости дать предприятию право самостоятельно формировать фонды экономического стимулирования, с учетом его первоочередных потребностей (строительство жилья, детских учреждений и т. д.). Экономическая служба предприятия способна осуществить такие расчеты с учетом показателей пятилетнего плана объединения.

В условиях полного хозрасчета основным показателем эффективности является прибыль. Имея прибыль, завод может использовать валютный фонд на приобретение импортных материалов, инструментов и оборудования. Валютный фонд и фонд развития производства, науки и техники дают возможность предприятию обновить производственные фонды и повысить производительность труда.

Наибольшее удовлетворение социальных потребностей достигается за счет роста прибыли и ликвидации внебалансовых убытков. Из-за невыполнения договорных обязательств, несвоевременной оплаты счетов на предприятие налагаются значительные штрафы и санкции. Для выполнения договоров необходимо обеспечить ритмичность выпуска продукции и ликвидировать нарушение трудовой и технологической дисциплины. Улучшение организации производства позволит повысить эффективность и качество работы.

Научно-технический прогресс и ресурсосбережение — основные условия для выполнения главной задачи пятилетки.

---

## ИЗ ЖИЗНИ ВУЗОВ

УДК 06.091 : 630\*945.31

СЕМЬДЕСЯТ ЛЕТ  
ВЫСШЕЙ ЛЕСНОЙ ШКОЛЕ ПОВОЛЖЬЯ

25 ноября 1918 г. было вынесено решение коллегии отдела высших учебных заведений Наркомпроса РСФСР об открытии лесного факультета при Казанском государственном университете; 4 февраля 1919 г. он начал функционировать, приняв первых 25 студентов.

Высшая лесная школа Поволжья — дитя Октября. Ее создателем была группа энтузиастов во главе (что теперь мало кому известно) с выдающимся лесоводом Г. Ф. Морозовым. Он специально, несмотря на нездоровье, приехал в Казань и выступал перед учеными университета с обоснованием целесообразности и необходимости открытия лесного факультета именно в Казанском Поволжье.

Г. Ф. Морозов указывал на чрезвычайно выгодное географическое положение этой части Поволжья, где велико богатство и разнообразие лесов, где тайга и лесостепь — близкие соседи. И главное, здесь трудами С. И. Коржинского, А. Я. Гордягина и их учеников создана русская ботанико-географическая школа, которую, по выражению Морозова, «можно поставить в параллель с другой нашей гордостью, с другой приобретшей уже мировое значение русской научной школой — Докучаевского генетического почвоведения».

Г. Ф. Морозов с горечью отмечал, что «вопросы нашей науки мало кого интересуют вне пределов специалистов; несмотря на важность лесов в экономии природы и в хозяйстве человека, интерес к ним и, в частности, к той сокровищнице знаний, которая заложена лесоводством, очень не велик; мы живем до сих пор за какой-то китайской стеной». А потому, призвал Морозов, «воздадим должное традициям Казанского университета, будем бережно относиться к сокровищам научной мысли и культуры, и проявлениям в этой области нашей самобытности... Закон сохранения традиций повелительно указывает совести русского интеллигентного человека, а тем паче совести лесоведа, — необходимость и плодотворность основания высшей школы именно в Казани\*». Собрание горячо приветствовало доклад Морозова и единогласно приняло положительное решение. Был создан Оргкомитет под председательством А. А. Юницкого, возглавившего всю нелегкую практическую работу\*\*.

Верен ли был выбор Морозова? Оправдались ли его надежды? Теперь, по прошествии 70 лет, можно сказать уверенно: классик не ошибся!

Уже к концу 1918 г. были организованы 8 профилирующих кафедр, возглавляемых профессорами. Факультет получил Раифскую лесную опытную дачу. В 1922 г. на базе лесного факультета университета и сельскохозяйственного факультета Казанского политехнического института был создан самостоятельный вуз — институт сельского хозяйства и лесоводства. В нем продолжили деятельность многие бывшие профессора университета: А. Я. Гордягин, А. А. Юницкий, Н. А. Ливанов и др., были привлечены крупные теоретики и практики известные профессора Л. И. Яшнов, А. П. Тольский, Г. С. Судейкин, Д. И. Морохин, доценты Б. Д. Жилкин (впоследствии профессор), И. В. Тюрин (будущий академик) и др. В целом в институте к 1924 г. насчитывалось 25 профессоров (отчет в упомянутом сборнике, с. 15—16).

С приходом в институт крупных ученых лесного профиля, прошедших большую отечественную и зарубежную школу, связано дальнейшее развитие лесного факультета. Они воплотили в жизнь идеи Морозова. Были организованы учебно-опытные базы: Можгинское лесничество (темнохвойная тайга Удмуртии), Сретенское и Раифское лесничества (соответственно в Марийской и Татарской АССР) в зоне смешанных лесов и Березниковское лесничество Ульяновской области в лесостепной зоне. Организации опытного дела много труда отдал проф. Л. И. Яшнов, по книгам которого «Общее ле-

\* Сборник научных статей Казанского института сельского хозяйства и лесоводства. — Казань, 1925. — Вып. 1. — С. 8—9. Мы намеренно привели убедительную аргументацию Г. Ф. Морозова, чтобы подчеркнуть, как полвека спустя, с легкостью необычайной принимались аналогичные решения. Так, например, был открыт лесоинженерный факультет в Костромском текстильном (!) институте.

\*\* Трудности были действительно большие: шла гражданская война, железную дорогу контролировал чехословацкий корпус и при поездке в Москву решено было подниматься по Волге до Нижнего Новгорода; под железнодорожным мостом через Волгу в сумерках лодка была обстреляна, но, к счастью, все обошлось благополучно.

соводство», «Биология лесных деревьев» училось не одно поколение студентов во всех вузах страны; Яшнов был редактором известного «Лесного журнала», передав в 1904 г. редактирование Морозову. Широко известен огромный лесокультурный опыт Тольского, обобщенный им вскоре в четырехтомном курсе «Частное лесоводство». Ученые факультета в 1926 г. организовали несколько отрядов экспедиции с использованием самолетов по обследованию печально знаменитых Марийских гарей 1921 г. Именно тогда появилась широко известная классификация лесных пожаров, начались исследования процессов лесовозобновления на гарях и др.

Ученые старшего поколения передали огромный запас знаний многочисленным ученикам, и когда в 1930 г. на базе лесного факультета и вновь открытого лесинженерного сформировался Казанский лесотехнический институт и когда затем в 1932 г. он перебазировался в Йошкар-Олу и получил название Поволжского лесотехнического (ПЛТИ), работа вуза успешно продолжалась.

В ПЛТИ А. П. Тольский завершил свой капитальный труд, написав его четвертую часть «Лесные питомники», Л. И. Яшнов издал «Рубки леса», Г. С. Судейкин в соавторстве с Н. Ф. Слудским — «Вреднейшие насекомые и грибные болезни леса», М. В. Колпиков и Л. И. Яшнов — «Живой напочвенный покров в лесу». В систематически выходящем «Сборнике трудов» опубликованы многие работы молодых ученых: Г. К. Незабудкина, И. С. Аверкиева, А. Ф. Григорьева, М. Д. Данилова, а в предвоенные годы Б. М. Алимбека, А. Р. Чистякова и др. Под руководством Л. Р. Линде было начато устройство лесов МАССР и создание дендросада (Б. М. Алимбек).

Война нарушила нормальную жизнь института, привела к его эвакуации; однако уже к концу войны в нем возник третий факультет — лесоэкономический.

Послевоенное время характерно развитием лесного факультета во многих направлениях. Расширилась материальная база, организован учебно-опытный лесхоз (Г. К. Незабудкин), завершено устройство лесов МАССР (А. В. Зорин), разработан Генеральный план развития лесного хозяйства республики, проведены глубокие исследования по широкой тематике. Результаты этих исследований освещены в ряде монографий, учебников, учебных пособий. Стала возможной защита докторских диссертаций, учреждена аспирантура, открыт специализированный совет по защите кандидатских диссертаций.

Следует назвать исследования: биологии развития деревьев и древостоев в их возрастной динамике (проф. М. Д. Данилов), ельников Севера (проф. П. В. Воробанов), теории прироста деревьев и древостоев (проф. М. Л. Дворецкий), теоретических основ и практики шелководства на березе (проф. И. С. Аверкиев), почв МАССР (проф. В. Н. Смирнов), природы и генезиса дубрав на северном пределе их ареала (проф. А. К. Денисов). Исследована теория и практика лесных культур, рубок главного пользования и ухода, интродукции древесных пород (доценты Г. К. Незабудкин, А. Р. Чистяков, Б. М. Алимбек и др.), разработан оригинальный способ рубок в березниках с ярусом ели (доц. П. В. Алексеев), изучена специфика хозяйств в прирусловых лесах (проф. А. К. Денисов), в водоохранных нагорных дубравах (доц. М. М. Михайлов), путезащитных лесах (доц. А. В. Зорин), лесах, устроенных по участковому методу (доц. О. О. Герниц). К этому времени относится выход в свет более 10 вузовских учебников и монографий.

В 1968 г. на базе ПЛТИ был создан Марийский политехнический институт (МарПИ). Из специальностей лесного направления в нем открыт факультет технологии деревообработки и специализация машины и механизмы лесного хозяйства, функционирует заочный факультет.

В 1988 г. в связи с перестройкой высшей школы факультеты лесинженерный и технологии деревообработки объединены в один — лесопромышленный факультет с сохранением специальностей.

Деятельность лесохозяйственного факультета в составе МарПИ характеризуется технизацией учебного процесса, внедрением программного обучения, использованием компьютеров, развитием НИРС, а за последнее время переходом на учебные планы целевой интенсивной подготовки (ЦИПС). Все это совершенствует учебный процесс, делает инженера лесного хозяйства участником и двигателем научно-технического прогресса отрасли, но только при условии, что эта форма не подменит и не подавит стержневого лесобиологического содержания его профессии.

Педагогический процесс и научные исследования ныне ведут уже третье и четвертое поколения ученых: профессора И. А. Алексеев, П. М. Верхунов, П. А. Соколов, вернувшиеся в родной вуз из других научно-учебных центров страны, авторы многих монографий, пособий и методических разработок, доценты Н. В. Еремин, В. И. Пчелин, А. Х. Газизуллин, М. М. Котов, Е. И. Успенский, А. С. Яковлев, В. А. Рахов и др. Большой вклад в развитие факультета вносят научные работники, приглашенные из НИИ, профессора Н. В. Кречетова, Ф. В. Аглиуллин.

Коллектив факультета усиливает связи с производством. При его непосредственном участии составлена на перспективу комплексная целевая программа «Марийский лес», ведутся хозяйственные разработки, ряд работ был представлен на ВДНХ СССР (П. В. Алексеев, П. Н. Федоров), удостоен медалей (П. М. Верхунов, Н. Д. Васильев, Е. М. Романов, Ю. Г. Мальков). Расширен учебно-опытный лесхоз, профилирующие кафедры открывают свои филиалы на производстве.

Высшая лесная школа Поволжья никогда не была замкнутой. Наиболее интенсивный кадровый обмен шел с *alma mater* Г. Ф. Морозова — Ленинградской лесотехнической академией. Кадровые контакты были и почти со всеми другими лесными вузами страны.

Ее вклад в научно-технический и производственный потенциал отрасли за 70 лет существования весьма значителен. Она подготовила около 5 тысяч инженеров лесного хозяйства, которые работали и работают в различных районах страны. Ее выпускники трудятся как непосредственно на производстве, так и в самых высших правительственных отраслевых инстанциях, научно-технических организациях, НИИ, вузах, Академии наук СССР и отраслевых академиях. Среди выпускников лесохозяйственного факультета два академика, 15 докторов и около 190 кандидатов наук. Ныне факультет устойчиво обеспечивает прием 200 человек, считая и заочную форму обучения.

Близится третье тысячелетие. Высшая лесная школа Поволжья смотрит в будущее с оптимизмом, основанным на ее истории.

**А. К. Денисов**

Марийский политехнический институт

## НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

УДК 630\*161.4 : 061.3

ПРОБЛЕМЫ ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ  
ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Среди биологических компонентов биосферы лесам принадлежит важнейшая роль в создании экологического равновесия на Земле, накоплении биомассы и солнечной энергии, обогащении кислородом. Занимая третью часть поверхности Земли, леса продуцируют около 60 % годовой органической массы и выделяют в атмосферу более половины всего кислорода, образующегося в процессе фотосинтеза растений. Несмотря на это, потребление лесных ресурсов при рубках уже давно превысило естественные производительные силы леса. Антропогенные воздействия на леса продолжают усиливаться, что может привести к непредсказуемым результатам. В связи с этим возрастает интерес к научным основам ведения лесного хозяйства и природопользования в целом. Все большую роль в этом отношении играет физиология и биохимия древесных растений.

Отдельные проблемы физиологии и биохимии древесных растений в различных аспектах и региональном плане изучаются в ряде академических, отраслевых научных учреждений и лесных вузах страны. Со времени проведения II Всесоюзной конференции по указанным проблемам прошло почти 7 лет. Назрела необходимость подведения итогов исследований, выявления перспективных направлений, а также недостатков и упущений в работе лесных физиологов страны. До сих пор еще весьма трудно внедряются достижения лесных физиологов в практику ведения лесного хозяйства.

В Петрозаводске с 7 по 9 февраля 1989 г. проходила III Всесоюзная конференция по современным проблемам физиологии древесных растений, созданная научными советами АН СССР «Проблемы лесоведения», «Проблемы экологии и антропогенной динамики биологических систем», «Проблемы физиологии и биохимии растений», организованный по инициативе лаборатории физиологии древесных растений Института леса Карельского филиала АН СССР в соответствии с решением II одноименной конференции (Красноярск, 1982 г.).

На конференцию было заявлено свыше 230 докладов, в ходе конференции заслушано и обсуждено более 80 докладов, представленных учеными из 32 городов страны.

Конференцию кратким вступительным словом открыл директор Института леса Карельского филиала АН СССР доктор сельскохозяйственных наук С. С. Зябченко. Затем на пленарном заседании были заслушаны доклады: «Современные проблемы экологической физиологии древесных растений» (А. В. Веретенников, ВЛТИ, Воронеж); «Прикладные аспекты физиологии древесных растений» (Г. И. Гирс, Институт леса и древесины СО АН СССР, Красноярск); «Проблемы физиологии плодоношения голосеменных» (Г. М. Козубов, Институт биологии Коми научного центра АН СССР, Сыктывкар).

Наряду с пленарным, были проведены два заседания по экологическим аспектам физиологии и биохимии древесных растений, заседание по физиолого-биологическим основам селекции и размножения древесных растений и заседание по устойчивости древесных растений к антропогенным воздействиям, болезням и вредителям. Были заслушаны также доклады по современным методам и совершенствованию методологии физиологического эксперимента, проведено обсуждение стеновых докладов.

В ходе работы конференции состоялся обстоятельный обмен информацией по экологии фотосинтеза, дыхания, водного режима древесных растений (Л. К. Кайбияйнен, Петрозаводск; И. С. Малкина, Москва; Л. И. Романова, Красноярск; Л. В. Русанова, Иркутск и др.), устойчивости древесных растений к стрессовым ситуациям и антропогенным воздействиям (Л. Г. Бабушкина, Свердловск; И. И. Коршиков, Донецк; Г. И. Массель, Иркутск; Л. А. Уваров, Воронеж; Т. С. Рыжкова, Красноярск и др.), физиолого-биохимическим основам селекции и размножения (В. В. Габукова, Петрозаводск; Г. Т. Криницкий, Львов; А. А. Мордась, Петрозаводск; А. Е. Самсонова, Воронеж; И. Н. Третьякова, Красноярск и др.), роста и развития древесных растений (Н. Г. Баланков, Петрозаводск; В. А. Давтян, Ереван; Л. Н. Меняйло, Красноярск; Л. Н. Павлюченкова, Ленинград; В. С. Родионов, Петрозаводск; Л. А. Рязанцева, Воронеж).

По вопросам аллелопатии отдельно следует назвать доклад С. Г. Прокушкина «Корневые экзометаболиты и саптролины сосны обыкновенной и их роль в биогеоце-

гозе» (Красноярск), по совершенствованию методов и методологии физиологических исследований — доклад В. К. Болондинского «Опыт автоматизации измерения внешних факторов среды и фотосинтеза» (Петрозаводск), а также В. К. Курца по многофакторному подходу и моделированию в экофизиологии (Петрозаводск).

В общей дискуссии и обсуждении резолюции конференции приняли участие Г. И. Гирс (Красноярск); Н. В. Кречетова (Йошкар-Ола), П. И. Юшков (Свердловск), Г. Т. Криницкий (Львов), автор этих строк и др.

В своем решении конференция, констатируя определенный прогресс в физиолого-биохимических исследованиях древесных растений и важность работы, проделанной лесными физиологами страны, вместе с тем обратила внимание на фрагментарность многих проводимых в стране эколого-физиологических исследований, слабую координацию их со стороны научных советов АН СССР, недостаток современной экспериментальной техники, средств автоматизации и обработки научной информации, что привело к отставанию от мирового уровня в разработке новых методов эколого-физиологических исследований.

Участники конференции считают, что в ближайшем будущем доминирующим должен стать интегральный подход в исследованиях по экологической физиологии древесных растений, а также переход к построению логико-математических конструкций и имитационных моделей биопродукционного процесса на основе широкого использования системно-структурного методологического подхода с учетом особенностей жизни отдельного дерева, популяции и лесной экосистемы в целом.

Конференция посчитала необходимым создать при научном совете «Проблемы лесоведения» АН СССР постоянно действующую секцию «Физиология и биохимия древесных растений», рассмотреть вопрос об организации больших комплексных межинститутских проектов и научных программ, принять меры по налаживанию контактов с зарубежными странами и т. д.

Настоящая конференция была хорошо организована, в ходе ее работы проведены экскурсии в научные лаборатории Института леса и Института биологии Карельского филиала АН СССР, по историческим местам Петрозаводска и Карелии. К началу работы конференции были изданы тезисы докладов, рабочая программа заседаний, организована продажа научной литературы. Накануне открытия конференции в местной республиканской газете «Ленинская правда» была опубликована статья «Физиологи — лесному хозяйству».

Очередную IV Всесоюзную конференцию по проблемам физиологии и биохимии древесных растений решено провести в 1994 г. в Воронеже на базе ЦНИИЛГИСа и ВЛТИ.

**А. В. Веретенников**

Воронежский лесотехнический институт

## НЕКРОЛОГ

**НИКОЛАЙ МАКСИМОВИЧ ГОРШЕНИН**

8 ноября 1988 г. на 85-м году жизни скончался крупный ученый в области лесного хозяйства Николай Максимович Горшенин, профессор Львовского лесотехнического института, заслуженный лесовод Украинской ССР.

Николай Максимович родился 6 августа 1904 года в г. Вольске Саратовской области. Трудовую деятельность начал рано, сразу после получения среднего образования стал работать техником-лесоводом, а затем одновременно учился на лесном факультете Саратовского лесохозяйственного института. В течение 13 лет работал во ВНИАЛМИ, где прошел большой путь как научный работник от старшего научного сотрудника до заместителя директора по научной работе. Здесь он разработал теоретические основы рубок ухода и впервые в стране опубликовал руководство по рубкам ухода. Он провел фундаментальные исследования в области агролесомелиорации. Труд «Полезашитное лесоразведение и борьба с засухой» был защищен им в качестве докторской диссертации. Монография «Агролесомелиорация», написанная под руководством Н. М. Горшенина и изданная Сельхозгизом в 1941 г., послужила теоретической основой и практическим руководством по созданию системы защитных лесных насаждений в последующий период.

С деятельностью Николая Максимовича связаны организация и становление кафедры лесоводства и лесохозяйственного факультета Львовского лесотехнического института. С 1946 г. на протяжении почти 30 лет он руководил кафедрой лесоводства, не оставляя работу на кафедре и будучи проректором по научной работе.

Прекрасный педагог и воспитатель, одновременно с большой учебно-методической работой Н. М. Горшенин выполнял разносторонние и глубокие исследования в области лесоведения и лесоводства. Он провел лесорастительное районирование западных областей УССР, разработал и внедрил в производство методы реконструкции разстроенных и малопродуктивных лесных насаждений, технологию рубок главного пользования в горных лесах.

Методы рубок ухода и новые способы рубок главного пользования в условиях горного рельефа Карпат, предотвращающие эрозию, сохраняющие и увеличивающие многостороннее влияние леса на окружающую среду, явились весомым вкладом Н. М. Горшенина в отечественное лесоводство. Он выполнил много работ в области теории лесоведения и лесоводства, изучил обмен веществ и энергии в системе лес и окружающая среда, исследовал способы постепенных рубок и их влияние на процессы лесовозобновления и сохранения окружающей среды. Н. М. Горшенин провел, впервые для западных областей УССР, комплексные исследования природы леса и рекомендовал хозяйственные мероприятия, сохраняющие и усиливающие полезные свойства леса.

Н. М. Горшенин — автор более 140 печатных работ, из них 9 работ монографического характера. Он подготовил 14 кандидатов и 6 докторов наук.

Многогранная и напряженная научно-педагогическая деятельность Н. М. Горшенина органически сочеталась с его большой общественной работой. Член КПСС с 1939 г., он не жалел сил на партийную работу, проявлял высокую активность, являясь членом научно-технического совета Минвуза СССР и Минвуза УССР, членом лесоводственной секции отдела лесоводства и агролесомелиорации ВАСХНИЛ.

За плодотворную научную, учебно-методическую и воспитательную работу Н. М. Горшенин был награжден орденом Трудового Красного Знамени, двумя орденами «Знак Почета» и медалями.

Многочисленные ученики, коллеги по научной и педагогической работе с благодарностью вспоминают человека высокой партийной принципиальности, чуткого и отзывчивого руководителя, крупного ученого Николая Максимовича Горшенина. Светлая память о нем навсегда сохранится в наших сердцах.

**М. И. Калинин, Н. Х. Осмола, Г. Т. Криницкий**

Львовский лесотехнический институт

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

О. А. Атрощенко. Система моделирования строения древостоев по диаметру . . . . .	3
В. А. Крючков, Г. Н. Новоселова, Т. Н. Сумецкова, И. П. Степанова, Н. В. Марина. Аэрофолиты лесных фитоценозов Среднего Урала . . . . .	8
В. А. Бугаев, Ю. Э. Папез. Рост сосновых культур в степной зоне . . . . .	11
Г. П. Сафронова. Содержание макроэлементов в хвое подроста ели и пихты в условиях темнохвойных лесов Сибири . . . . .	15
Б. П. Чураков. Влияние грибных болезней деревьев сосны обыкновенной на их семенное потомство . . . . .	19
Н. К. Теслюк. Оценка метода определения прироста и отпада леса проф. П. В. Воропанова . . . . .	23

### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

А. В. Жуков, С. С. Макаревич, Л. Ф. Доронин, К. Б. Абрамович, Е. А. Бородич. Методика учета приведенных масс покрытия при оценке динамического взаимодействия лесотранспортной системы с дорогой . . . . .	28
Л. В. Коротяев. Повышение рейсовой нагрузки на трелевочные машины . . . . .	33
М. В. Кондаков. К расчету динамического нагружения конструкции манипулятора при переходных процессах . . . . .	38
Е. И. Шелобаев. Повышение надежности лесовозных автомобильных дорог . . . . .	43
В. П. Белокуров, В. М. Попов. Метод расчета и подбора фрикционных пар при создании тормозных узлов на стадии проектирования . . . . .	47

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

В. В. Амалицкий, В. Г. Бондарь, А. П. Чувашев, И. Я. Нуллер. Метод определения субгармонических колебаний в системе каретка — направляющие на стадии проектирования деревообрабатывающих машин . . . . .	52
А. А. Пижурич, В. Е. Пятков. Математическая модель оптимального соотношения выработки целых и клееных заготовок в деревянном домостроении . . . . .	55
В. В. Огурцов. Метрологические аспекты определения коэффициентов корреляции между механическими параметрами древесины . . . . .	59
О. И. Полубояринов, Н. О. Крепак. Качество древесины дугласии и рекомендации по ее использованию . . . . .	62
В. Э. Лобжанидзе. Анатомическое строение и физико-механические свойства древесины облепихи крушиновой <i>Hipporhae rhamnoides</i> L. в связи с экологическими условиями . . . . .	67

### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

А. А. Рязанцев, А. М. Погалева, О. Д. Найданов. Фракционирование лигносульфонатов ультрафильтрацией . . . . .	72
В. И. Сидоров, Е. Н. Покровская, Н. В. Великанова. Исследование модифицирования древесины композициями на основе полиалкилгидридсилоксанов . . . . .	75
П. Ф. Валендо. Нейтральная проклейка мешочной бумаги . . . . .	78
И. П. Дейнеко, С. И. Кологов. Окислительный аммонолиз еловых опилок, метилированных диметилсульфатом . . . . .	81
Б. П. Ерыхов, М. Г. Крымер, А. С. Головков, А. В. Морев, М. А. Пилия. Исследование кинетики взаимодействия целлюлозного субстрата с водой резонансным методом . . . . .	84
С. Д. Каменков, И. А. Гамова, Г. И. Царев. Модификация композиционного связующего талловой канифолью . . . . .	87

- Е. П. Шишаков, В. М. Шкут, Т. В. Цыкунова, Ж. Ф. Ручай. Исследование процесса инверсии гидролизата древесины в присутствии азотнокислых и комплексных солей . . . . . 90

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Л. Б. Иванов, И. В. Гельман, И. И. Исаева, Т. А. Шагалова. Прогнозирование удельных затрат ручного труда для мебельных предприятий ВПО Севзапмебель . . . . . 95
- А. И. Трегубов. Математическое обеспечение оперативно-календарного планирования вывозки в лесозаготовительно-деревоперерабатывающих системах 98
- Т. Л. Безрукова. Оптимизация вариантов лесозаготовок в комплексном предприятии малолесной зоны . . . . . 104
- П. Жуковски. Концептуальная модель управления хозяйственной деятельностью на уровне предприятия мебельной промышленности (системный подход) 108

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- О. Н. Кранкина. Опыт прогнозирования возрастной динамики таксационных показателей . . . . . 115
- В. А. Алексеев. Оценка зависимости снижения прироста в высоту от дозы ретарданта гидрела в молодняках . . . . . 116
- А. А. Гойденко, А. Ф. Алябьев. Об определении статистических характеристик микропрофилей вырубок . . . . . 119
- С. Х. Будыка**, М. К. Змушко, Т. В. Кулик. Совершенствование технологии первоначального плотового лесосплава . . . . . 121
- Ю. Ф. Воронцов, В. С. Ясинский. Повышение эффективности лесопильного производства . . . . . 123
- Р. Б. Орлович, А. Я. Найчук. О достоверности критерия Бейли при оценке длительной прочности древесины . . . . . 124
- Л. А. Сун-Чен-Ли, В. Ф. Качан, А. В. Федак. Способ декорирования элементов мебели . . . . . 126
- М. П. Гореньков. Определение эффективной толщины прозрачного покрытия . 128
- Р. П. Семенова. Взаимосвязь экономического и социального развития предприятия . . . . . 130

### ИЗ ЖИЗНИ ВУЗОВ

- А. К. Денисов. Семьдесят лет высшей лесной школе Поволжья . . . . . 134

### НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

- А. В. Веретенников. Проблемы физиологии и биохимии древесных растений . . 136

### НЕКРОЛОГ

- М. И. Калинин, Н. Х. Осмола, Г. Т. Криницкий. Николай Максимович Горшенин . . . . . 138

- Рефераты . . . . . 143

## CONTENTS

### FORESTRY

<i>O. A. Atroshchenko.</i> Modelling System of Diameter Stands' Structure . . . . .	3
<i>V. A. Kryuchkov, G. N. Novoselova, T. N. Sumenkova, I. P. Stepanova, N. V. Marina.</i> Forest Phytocoenosis Aerofofines of the Middle Urals . . . . .	8
<i>V. A. Bugaev, Yu. E. Papezh.</i> Pine Cultures growth in Steppe Zone . . . . .	11
<i>G. P. Safronova.</i> Macroelements' Content in Needles of Fir and Spruce Regrowth under Conditions of Dark-Needled Forests of Siberia . . . . .	15
<i>B. P. Churakov.</i> Effect of Common Pine Trees' Fungi Diseases on Their Seed Crops . . . . .	19
<i>N. K. Teslyuk.</i> Prof. Voropanov's Method of Management-Volume Inventory . . . . .	23

### FOREST EXPLOITATION

<i>A. V. Zhukov, S. S. Makarevich, L. F. Doronin, K. B. Abramovich, E. A. Borodich.</i> Method of Given Pavement Masses' Calculation in Evaluation of Dynamic Interaction of Forest Transport System with Road . . . . .	28
<i>L. V. Korotyaev.</i> Building up the Skidding Truck Load . . . . .	33
<i>M. V. Kondakov.</i> On Calculation of Dynamic Loading of Manipulator Construction at Transition Processes . . . . .	38
<i>E. I. Shelopaev.</i> Increase of Log Truck Roads' Reliability . . . . .	43
<i>V. P. Belokurov, V. M. Popov.</i> Method of Calculation and Option the Frictional Pairs when Designing Brake-Units . . . . .	47

### MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>V. V. Amalitsky, V. G. Bondar, A. P. Chuvashov, I. Ya Nuller.</i> Method of Subharmonic Vibration Determination in Carriage-Guides-System in Designing Woodworking Machines . . . . .	52
<i>A. A. Pizhurin, V. E. Pyatkov.</i> Mathematical Model of Optimal Proportion of Solid and Glued Pretabs Production in Wooden House Building . . . . .	55
<i>V. V. Ogurtsov.</i> Metrological Aspects of Correlation Determination Factors of Mechanical Properties of Wood . . . . .	56
<i>O. I. Poluboyarinov, N. O. Krepak.</i> Douglas Fir Wood Quality and Recommendations to its Usage . . . . .	62
<i>V. E. Lobzhanidze.</i> Anatomical Structure and Physico-Mechanical Properties of Sea-Buckthorn Wood Due to Ecological Conditions . . . . .	67

### CHEMICAL WOODWORKING

<i>A. A. Ryazantsev, A. M. Pogaleeva, O. D. Naidanov.</i> Fractionation of Lignosulphonates by Ultrafiltration . . . . .	72
<i>V. I. Sidorov, E. N. Pokrouskaya, N. V. Velikanova.</i> Study of Modifying of Wood by Compositions of Polyalkylhydridesiloxanes . . . . .	75
<i>P. F. Valendo.</i> Neutral Sizing of Bag Paper . . . . .	78
<i>I. P. Deineko, S. I. Kolotov.</i> Oxidative Ammonolyses of Spruce Sawdust Methylated by Dimethyl Sulphate . . . . .	81
<i>B. P. Erykhov, M. G. Krymer, A. S. Golovkov, A. V. Morev, M. A. Piliya.</i> Investigation of Pulp Substrate-Water Correlation Kinetics Resonance Method . . . . .	84
<i>S. D. Kamenkov, I. A. Gamova, G. I. Tsarev.</i> On Modification of Composite Adhesive by Tall Rosin . . . . .	87
<i>E. P. Shishakov, V. M. Shkut, T. V. Tsykunova, Zh. F. Ruchay.</i> Analysis of Nitric Acid-and-Complex Salts Wood Hydrolysate Inversion Process . . . . .	90

## ECONOMICS AND MANAGEMENT

<i>L. B. Ivanov, I. V. Gelman, I. I. Isaeva, T. A. Shagalova.</i> Forecast of Manual Labour Specific Expenditures for VPO Sevzapmebel Furniture Enterprises	95
<i>A. I. Tregubov.</i> Mathematical Providing of Operating-Calendar Planning of Ttransportation at Cutting-Woodmanufacturing Systems	98
<i>T. L. Bezrukova.</i> Optimization of Logging Variants at Complex Enterprise of Scarceily Forested Area	104
<i>P. Zhukovsky.</i> Conceptual Model of Economic Activity Management at Furniture Industry Enterprises Level (System Concept)	108

## SUMMERIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE

<i>O. N. Krankina.</i> Forecasting Experience Taxation Indices Age Dynamics	115
<i>V. A. Alekseev.</i> Evaluation of Height Increment Decrease Relationship to Hydrel Retardant Proportion in Young Growth Stands	116
<i>A. A. Goidenko, A. F. Alyabiev.</i> On Determination of Statistical Characteristics of Felling Microprofiles	119
<i>S. Kh. Budyka, M. K. Zmushko, T. V. Kulik.</i> Improving of Orignal Floatage Technology	121
<i>Yu. F. Vorontsov, V. S. Yasinsky.</i> Efficiency Improvement of Sawing Production	123
<i>R. B. Orlovich, A. Ya. Naichuk.</i> On Reliability of Beily's Criterion when Evaluating Wood Durability	124
<i>L. A. Sun-Chen-Li, V. F. Kachan, A. V. Fedak.</i> Method of Furniture Components' Decoration	125
<i>M. P. Gorenkov.</i> Determination of Effective Thickness of Transparent Coating	128
<i>R. P. Semenova.</i> Relationship of Economic and Social Development an Enterprise	130

## FROM VUSES' LIFE

<i>A. K. Denisov.</i> The 70 <sup>th</sup> Anniversary of the Higher Forest Institute of Volga Basin Region	134
---	-----

## SCIENTIFIC AND LEARNED CONFERENCES

<i>A. V. Veretennikov.</i> Physiology and Biochemistry Problems of Wood Plants	136
--	-----

## OBITUAPIE

<i>M. I. Kalinin, N. H. Osmola, G. T. Krinitsky.</i> Nikolai Maximovich Gorshenin	138
---	-----

Précis	143
--------	-----

## РЕФЕРАТЫ

УДК 630\*566:681.31

**Система моделирования строения древостоев по диаметру.** АТРОЦЕНКО О. А. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 3—7.

Исследовано строение чистых одновозрастных сосновых, еловых и березовых древостоев, разработаны регрессионные модели связи и модель для имитации динамики строения древостоев по диаметру. Показано решение практических задач в созданной системе моделирования строения древостоев. Оценена надежность результатов моделирования на ЭВМ. Табл. 4. Библиогр. список: 7 назв.

УДК 581.19

**Аэрофиллы лесных фитоценозов Среднего Урала.** КРЮЧКОВ В. А., НОВОСЕЛОВА Г. Н., СУМЕНКОВА Т. Н., СТЕПАНОВА И. П., МАРИНА Н. В. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 8—10.

Приведены данные о содержании аэрофилов в воздушной среде пяти типов леса Уральского учебно-опытного лесхоза. Показано, что содержание летучих метаболитов изменяется в течение вегетационного периода и по годам. Табл. 2. Библиогр. список: 9 назв.

УДК 630\*566

**Рост основных культур в степной зоне.** БУГАЕВ В. А., ПАПЕЖ Ю. Э. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 11—14.

Изложены результаты исследований основных культур (возраст 5...65 лет, классы бонитета I—III) в условиях степной зоны (южные районы Воронежской области и северная часть Ростовской). Помещены составленные авторами таблицы хода роста. Табл. 3. Библиогр. список: 2 назв.

УДК 630\*160.21:674.032

**Содержание макроэлементов в хвое подраста ели и пихты в условиях темнохвойных лесов Сибири.** САФРОНОВА Г. П. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 5—18.

Приведены сведения о содержании основных макроэлементов в однолетней хвое подраста ели сибирской и пихты сибирской в условиях их совместного произрастания в Сибири. Определены соотношения N:P, Ca:K и N:P:K. Сделаны выводы о возможности использования данных листового анализа при оценке качества условий произрастания. Табл. 3. Библиогр. список: 8 назв.

УДК 630\*443:630\*165.6

**Влияние грибных болезней деревьев сосны обыкновенной на их семенное потомство.** ЧУРАКОВ Б. П. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 19—23.

Приведены данные о влиянии фитопатогенных грибов с различным уровнем паразитизма на пророст в высоту и по диаметру, а также на содержание хлорофилла, аскорбиновой кислоты и pH клеточного сока хвои семенного потомства больных деревьев сосны обыкновенной. Табл. 4. Библиогр. список: 17 назв.

УДК 630\*524

**Оценка метода определения прироста и отпада леса проф. П. В. Воропанова.** ТЕС-

ЛЮК Н. К. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 23—27.

Приведен анализ формул отпада в древесных насаждениях по методу П. В. Воропанова в сравнении со стандартной методикой. Показано, что при нормальном росте и отпаде насаждений метод П. В. Воропанова приводит к преувеличению текущего прироста. Библиогр. список: 4 назв.

УДК 630\*37:625.711.84

**Методика учета приведенных масс покрытия при оценке динамического взаимодействия лесотранспортной системы с дорогой.** ЖУКОВ А. В., МАКАРЕВИЧ С. С., ДОРОНИН Л. Ф., АБРАМОВИЧ К. Б., БОРОДИЧ Е. А. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 28—33.

Разработана методика определения приведенной к колесам автотранспортного средства массы двухслойной дорожной конструкции, представленной однородным упругоэластичным слоем и полупространством. Дан расчет приведенной массы от радиуса отпечатка шины и коэффициента изменения перемещений по глубине. Ил. 3. Библиогр. список: 8 назв.

УДК 630\*375.4

**Повышение рейсовой нагрузки на трелевочные машины.** КОРОТЯЕВ Л. В. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 33—37.

Рассмотрены закономерности изменения коэффициента сопротивления волочению пачек деревьев (хлыстов) при трелевке под влиянием природно-климатических, технологических и производственно-технических факторов. Даны рекомендации по снижению сопротивления и повышению объема трелевочной пачки и производительности трелевочных машин, по уменьшению удельных энергозатрат на трелевку.

УДК 539.3

**К расчету динамического нагружения конструкции манипулятора при переходных процессах.** КОНДАКОВ М. В. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 38—43.

Рассмотрен метод описания динамического нагружения, возникающего в конструкции манипулятора, при переходных процессах, обусловленных изменением (переключением) управляющих усилий привода. Метод позволяет организовать достаточно эффективный алгоритм проектного расчета манипулятора с учетом упругих деформаций конструкции. Ил. 4. Библиогр. список: 3 назв.

УДК 625.7/8

**Повышение надежности лесовозных автомобильных дорог.** ШЕЛОПАЕВ Е. И. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 43—47.

Приведены особенности сурового климата восточных лесных районов Сибири, его влияние на эксплуатационные показатели дороги. Показаны особенности расчета дорожных одежд на прочность, морозоустойчивость и осущение. Табл. 2. Ил. 3. Библиогр. список: 5 назв.

УДК 62-59:621.01.001

**Метод расчета и подбора фрикционных пар при создании тормозных узлов на стадии проектирования.** БЕЛОКУРОВ В. П., ПО-

ПОВ В. М. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 47—51.

Предложен расчетный критерий мощности, позволяющий оценивать работоспособность фрикционных пар в тормозных узлах машин. Его использование позволит на стадии проектирования правильно подобрать фрикционные пары трения для любых заданных условий и режимов работы. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. список: 2 назв.

УДК 674.05.001.2

Метод определения субгармонических колебаний в системе каретка — направляющие на стадии проектирования деревообрабатывающих машин. АМАЛИЦКИЙ В. В., БОНДАРЬ В. Г., ЧУВАШЕВ А. П., НУЛЛЕР И. Я. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 52—55.

Рассмотрен метод отстройки упругой системы станка от субгармонического резонанса при проектировании деревообрабатывающего оборудования. Ил. 4. Библиогр. список: 5 назв.

УДК 674.21:694

Математическая модель оптимального соотношения выработки целых и клееных заготовок в деревянном домостроении. ПИЖУРИН А. А., ПЯТКОВ В. Е. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 55—59.

Целевая функция модели реализует критерий минимума приведенных затрат. Система ограничений модели гарантирует выполнение ряда технико-экономических показателей: по объему раскраиваемых пиломатериалов и вырабатываемых заготовок, по количеству потоков, по максимальному объему капитальных вложений, по площади участка раскроя.

УДК 674.09-791.8.001.57

Метрологические аспекты определения коэффициентов корреляции между механическими параметрами древесины. ОГУРЦОВ В. В. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 59—62.

Полученное выражение позволяет находить поправки к коэффициентам корреляции на ошибки измерения параметров математической модели для автоматизированной сортировки пиломатериалов по механическим свойствам. Ил. 2. Библиогр. список: 2 назв.

УДК 630\*812

Качество древесины дугласии и рекомендации по ее использованию. ПОЛУБОЯРИНОВ О. И., КРЕПАК Н. О. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 62—67.

Рассмотрены особенности распределения плотности древесины внутри отдельных стволов и насаждений. Показана связь плотности древесины со скоростью роста деревьев. Даны рекомендации использования древесины дугласии как конструкционного материала. Ил. 2. Табл. 5. Библиогр. список: 17 назв.

УДК 630\*812

Анатомическое строение и физико-механические свойства древесины облепихи крупнолистной. *Hippophae rhamnoides L.* в связи с экологическими условиями. ЛОБЖАНИДЗЕ В. Э. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 67—71.

Установлено, что даже в экстремальных условиях субальпийской зоны облепиха образует деревья третьей величины с высококачественной декоративной древесиной, которую следует использовать по целевому назначению. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. список: 13 назв.

УДК 547.992.3:630\*813

Фракционирование лигносульфонатов ультрафильтрацией. РЯЗАНЦЕВ А. А., ПОГАЛЕВА А. М., НАЙДАНОВ О. Д. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 72—75.

Изучен механизм фильтрации на основе исследования молекулярно-массового распределения и ИК-спектров лигносульфонатов различных фракций. Обсуждены вопросы очистки сточных вод от лигносульфонатов с помощью мембранной технологии. Ил. 1. Табл. 3.

УДК 630\*813.4

Исследование модифицирования древесины композициями на основе полиалкилгидридсилоксанов. СИДОРОВ В. И., ПОКРОВСКАЯ Е. Н., ВЕЛИКАНОВА Н. В. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 75—78.

Рассмотрены вопросы модифицирования древесины полиалкилгидридсилоксанами в присутствии различных катализаторов отверждения кремнийорганических олигомеров с целью увеличения гидрофобности. Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. список: 4 назв.

УДК 676.2:537.213

Нейтральная проклейка мешочной бумаги. ВАЛЕНДО П. Ф. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 78—81.

Показано, что посредством катионных полиэлектролитов и его модификаций можно осуществить гетероадаптацию дисперсных проклеивающих частиц в волокнистой массе и в нейтрально-щелочной среде и получить бумагу с повышенными показателями качества. Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. список: 5 назв.

УДК 630\*861.16

Окислительный аммонолиз еловых опилок, метилированных диметилсульфатом. ДЕЙНЕКО И. П., КОЛОТОВ С. И. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 81—84.

Сделан вывод, что основными реакционными центрами лигнина, взаимодействующими с кислородом, являются гидроксилсодержащие функциональные группы. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. список: 6 назв.

УДК 676.481

Исследование кинетики взаимодействия целлюлозного субстрата с водой резонансным методом. ЕРЫХОВ Б. П., КРИМЕР М. Г., ГОЛОВКОВ А. С., МОРЕВ А. В., ПИЛИЯ М. А. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 84—87.

Установлено, что при взаимодействии с водой целлюлозного субстрата величина его структурных изменений зависит от наличия проклейки, геометрических параметров волокна и плотности структурных элементов в нем. Наблюдаемые структурные изменения отражаются на физико-механических свойствах субстрата и могут оцениваться неразрушающими методами исследования. Ил. 1. Библиогр. список: 5 назв.

УДК 674.812.2

Модификация композиционного связующего талловой канифолью. КАМЕНКОВ С. Д., ГАМОВА И. А., ЦАРЕВ Г. И. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 87—90.

Показана возможность использования талловой канифоли в качестве модификатора композиционного карбамидоформальдегидного связующего с целью снижения его токсичности и повышения текучести пресс-массы. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. список: 7 назв.

УДК 630\*863.4

Исследование процесса инверсии гидролизата древесины в присутствии азотнокислых и комплексных солей. ШИШАКОВ Е. П., ШКУТ В. М., ЦЫКУНОВА Т. В., РУЧАЙ Ж. Ф. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 90—94.

Показано, что азотнокислые комплексные соли значительно интенсифицируют гидролиз декстринов и олигосахаридов, вызывают раздражение лигноуминных веществ с об-

05  
4232

ISSN 0536—1036

# ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ

2

\_\_\_\_\_ 1989

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Рукописи статей принимаются редакцией по рекомендации соответствующих кафедр высших учебных заведений.

Статьи, представляемые в журнал, следует оформлять в соответствии с ГОСТом 19698—74 «Рукопись авторская для издания». Статьи не должны превышать 6—7 страниц машинописного текста, превышающие указанный объем к рассмотрению не принимаются. Статьи библиографического характера должны быть не более 3 страниц. Над названием статьи следует проставлять индекс Универсальной десятичной классификации (УДК). В заголовке статьи указываются ее название, инициалы и фамилия автора (или авторов) на русском и английском языках и полное наименование того учреждения, в котором проделана описываемая в статье работа. Рукописи направляются в редакцию в двух отчетливо оформленных экземплярах на хорошей бумаге, перепечатанные на машинке через два интервала на одной стороне листа. На листе должно быть не более 30 строк, а в строке не более 60 знаков. С левой стороны листа оставляется чистое поле шириной в 30 мм. Все страницы рукописи должны быть пронумерованы. На полях рукописи необходимо карандашом указать места рисунков и цифровых таблиц, если последние прилагаются к статье на отдельных листах. Иностранные слова должны быть вписаны на машинке или разборчиво чернилами от руки.

Особое внимание должно быть обращено на аккуратное написание индексов и показателей степени. Следует делать ясное различие между заглавными и строчными буквами. Во избежание недоразумения заглавные буквы следует подчеркивать двумя черточками снизу, а строчные — двумя черточками сверху. Особенно это касается таких букв, как *V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и

упоминаемые в тексте статьи в первый раз, нужно писать полностью (указав в скобках сокращенное название); в дальнейшем это наименование можно давать только сокращенно.

При ссылке в тексте статьи на работы других авторов следует в скобках указывать фамилию автора и год издания его работы. Упоминания имен иностранных авторов даются в русской транскрипции, ссылка на иностранные работы — на том языке, на котором они опубликованы. В случае приведения цитаты необходимо указать, откуда она взята (автор, название работы, номер тома, год издания, страницы).

Список литературы должен быть оформлен в соответствии с ГОСТом 7.1—84 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления» и содержать лишь цитируемые в тексте статьи работы, и, наоборот, все упоминаемые в тексте работы должны быть помещены в списке литературы. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Рукопись должна быть тщательно выверена, подписана автором и иметь визу руководителя кафедры: должны быть написаны дата отправки рукописи, полное имя и отчество автора, его ученое звание и степень, а также служебный и домашний почтовые адреса и номера телефонов.

Иллюстрации (не более трех, рисунки под литерами считаются за отдельные рисунки) представляются в двух экземплярах. Они должны быть пригодны для цинкографического воспроизведения (фотографии должны быть четкими, чертежи необходимо делать черной тушью пером на ватмане, тени на рисунках — при помощи точек или штрихов). На обратной стороне рисунка должны быть указаны его порядковый номер, соответствующий номеру в списке литературы.

Подписи к рисункам должны быть приложены на отчетливо перепечатанными на ма-

быть приложены  
ация и рекоменда-

звращать авторам  
статьи с требова-  
ожении и более ак-

о производить со-  
ые изменения руко-  
атей авторам, как  
ется.

платно 10 оттисков  
очением публикаций  
и хроники).

разованием кислот, спиртов, эфиров и других веществ. Сахара в процессе инверсии не разрушаются. Ил. 3. Табл. 2. Библиогр. список: 8 назв.

УДК 684:331

**Прогнозирование удельных затрат ручного труда для мебельных предприятий ВПО Севзапмебель.** ИВАНОВ Л. Б., ГЕЛЬМАН И. В., ИСАЕВА И. И., ШАГАЛОВА Т. А. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 95—98.

На основе статистического анализа удельных затрат ручного труда прогнозируются оптимальные значения этого показателя на 1986—1990 гг. для групп мебельных предприятий ВПО Севзапмебель. Табл. 2. Библиогр. список: 2 назв.

УДК 65.012.2:630\*375.5

**Математическое обеспечение оперативно-календарного планирования вывозки в лесозаготовительно-древосперирабатывающих системах.** ТРЕГУБОВ А. И. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 98—104.

Разработана имитационная модель формирования оптимальных планов поставок древесного сырья на промлощадки перерабатывающих центров с учетом программы переработки, неритмичного характера вывозки и способа организации подачи сырья на раскряжевку. Ил. 2. Библиогр. список: 9 назв.

УДК 630\*79:630\*71

**Оптимизация вариантов лесозаготовок в комплексном предприятии малолесной зоны.** БЕЗРУКОВА Т. Л. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 104—108.

Рассмотрена проблема комплексного и рационального использования лесных ресурсов в лесодефицитных районах. Предложен вариант решения этой проблемы — введение несплошных рубок в практику лесозаготовок. Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. список: 2 назв.

УДК 653.1:684

**Концептуальная модель управления хозяйственной деятельностью на уровне предприятия мебельной промышленности (системный подход).** ЖУКОВСКИ П. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 108—114.

Определены основные подсистемы хозяйственной деятельности предприятия, их взаимосвязи и взаимодействия и построена общая модель системы управления. Указаны роль и задачи отдельных уровней управления предприятием. Ил. 3. Библиогр. список: 5 назв.

УДК 630\*564

**Опыт прогнозирования возрастной динамики таксационных показателей.** КРАНКИНА О. Н. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 115—116.

Представлены результаты прогнозирования динамики средней, верхней и видовой высоты, среднего диаметра и запаса чистых хвойных древостоев по логарифмической кривой. Оценена точность прогноза в зависимости от его срока. Табл. 2.

УДК 630\*243.8:631.811.99

**Оценка зависимости снижения прироста в высоту от дозы ретарданта гидрела в молодняках.** АЛЕКСЕЕВ В. А. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 116—118.

Изучена зависимость эффекта снижения прироста в высоту у деревьев березы в 5—6-летнем смешанном молодняке от доз ретарданта гидрела. Показана слабая реакция деревьев сосны на обработку. Выявлена оптимальная доза препарата. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. список: 4 назв.

УДК 630\*306:519.2

**Об определении статистических характеристик микропрофилей вырубков.** ГОЙДЕНКО А. А., АЛЯБЬЕВ А. Ф. Изв. высш. учеб.

заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 119—120.

Проведена оценка статистических характеристик микропрофилей вырубки в дубравной зоне Северного Кавказа с вычислением нормированных корреляционных функций и спектральных плотностей. Табл. 1. Библиогр. список: 2 назв.

УДК 630\*378.3

**Совершенствование технологии первоначального плотового лесосплава.** БУДЫКА С. Х.

ЗМУШКО М. К., КУЛИК Т. В. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 121—123.

На примере Верхневятского лесосплавного бассейна обосновано показано, что на первоначальных реках вслед за ранневесенним пучковым лесосплавом, взамен молевого, можно успешно производить лесосплав в плотах плоской слотки. Табл. 1. Библиогр. список: 5 назв.

УДК 674.09.002.03

**Повышение эффективности лесопильного производства.** ВОРОНЦОВ Ю. Ф., ЯСИНСКИЙ В. С. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 123—124.

Показано, что за счет замены признака сортировки пиловочного сырья у поставщиков повышается коэффициент экстенсивного использования лесопильного оборудования. Ил. 1.

УДК 624.011:539.4

**О достоверности критерия Бейли при оценке длительной прочности древесины.** ОРЛОВИЧ Р. Б., НАЙЧУК А. Я. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 124—126.

Описана методика длительных испытаний деревянных образцов при различных режимах и видах напряженного состояния. На основании полученных результатов подтверждена достоверность принципа линейного суммирования повреждений для древесины. Табл. 1. Библиогр. список: 6 назв.

УДК 684.4.059

**Способ декорирования элементов мебели.** СУН-ЧЕН-ЛИ Л. А., КАЧАН В. Ф., ФЕДАК А. В. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 126—128.

Рассмотрен способ декорирования фасадных поверхностей изделий мебели, основанный на использовании ферромагнитных лакокрасочных композиций и электромагнитов. Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. список: 4 назв.

УДК 667.64/65

**Определение эффективной толщины прозрачного покрытия.** ГОРЕНЬКОВ М. П. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 128—130.

Представлены результаты теоретических вычислений эффективных толщин лакового покрытия, максимально проявляющих текстуру древесины. Табл. 2. Библиогр. список: 4 назв.

УДК 630\*79

**Взаимосвязь экономического и социального развития предприятия.** СЕМЕНОВА Р. П. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 130—132.

Показано, что существующий механизм распределения прибыли в условиях самфинансирования нуждается в совершенствовании. Табл. 2.

УДК 06.091:630\*945.31

**Семьдесят лет высшей лесной школы Поволжья.** ДЕНИСОВ А. К. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 133—135.

УДК 630\*161.4:061.3

**Проблемы физиологии и биохимии древесных растений.** БЕРЕТЕННИКОВ А. В. Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1989, № 2, с. 136—137.

**Подписывайтесь  
на журнал на 1989 г.**

**«ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ»  
ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА СССР  
ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ**

Раздел

**«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ»**

Индекс 70368

«Лесной журнал» выходит один раз в два месяца. Подписная цена на год — 8 руб. 40 коп. Цена отдельного номера — 1 руб. 40 коп.

Подписка принимается органами «Союзпечати». В случае отказа в приеме подписка может быть оформлена через редакцию.

По заявке, направленной в редакцию, отдельные номера журнала высылаются наложенным платежом.

Адрес редакции: 163007, Архангельск-7, Набережная В. И. Ленина, 17, АЛТИ, «Лесной журнал».