

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

---

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

*Лесной журнал*

ГОД ИЗДАНИЯ ДВАДЦАТЫЙ

2

1977

АРХАНГЕЛЬСК

Библиотека  
Архангельского  
Лесотехнического  
института  
им. В. В. Куйбышева

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Проф. И. М. Боховкин (отв. редактор), доц. Е. С. Романов (зам. отв. редактора), доц. С. И. Морозов (зам. отв. редактора), проф. Н. М. Белая, проф. Ю. Г. Бутко, доц. П. И. Войчалъ, проф. И. В. Воронин, проф. М. Л. Дворецкий, проф. М. И. Зайчик, доц. Г. Л. Дранишников, проф. В. Г. Кочегаров, проф. Н. В. Маковский, акад. ВАСХНИЛ, проф. И. С. Мелехов, доц. Н. В. Никитин, проф. А. Н. Песоцкий, доц. А. Р. Родин, проф. Ю. Д. Силуков, проф. Н. И. Федоров, проф. В. В. Фелилов, проф. В. Н. Худоногов, проф. В. В. Щелкунов.

Ответственный секретарь редакции А. И. Кольцова.

---

«Лесной журнал» публикует научные статьи сотрудников вузов 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, преподавателей вузов, студентов старших курсов лесотехнических институтов.

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 1977.

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

---

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 2  
(Год издания двадцатый)

---

Сдан в набор 15/III 1977 г. Подписан к печати 13/VI 1977 г.  
Форм. бум. 70X108<sup>1/2</sup>. Печ. л. 15,4 + 1 вкл. Физ. л. 11. Уч.-изд. л. 15,27.  
Сл. 00031. Тираж 2160 экз. Заказ 2552. Цена 1 руб.

---

Типография им. Скляпина издательства Архангельского обкома КПСС,  
г. Архангельск, Набережная В. И. Ленина, 86.

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 634.0.566

ХОД РОСТА СМЕШАННЫХ БЕРЕЗОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Г. М. ДАВИДОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Составлен эскиз таблиц хода роста березняков по типам леса (кисличники и черничники), выявлена динамика развития крон и весовой продуктивности биомассы для условий северо-западного лесоэкономического района.

Исследование хода роста насаждений представляет интерес как для практики ведения лесного хозяйства, так и с научной точки зрения — в целях выявления закономерностей и особенностей их роста. Анализ отечественной и зарубежной специальной литературы показал, что в ходе роста березняков наблюдаются некоторые различия в зависимости от географического положения и типа леса. Поэтому продолжение начатой работы вполне оправдывалось, тем более, что в условиях Ленинградской области еще не были изучены особенности роста березняков в связи с типами леса.

Основной собранный материал относится к березнякам-кисличникам и черничникам, наиболее распространенным в лесных массивах Ленинградской области. Территориальное расположение их в пределах области неравномерно. На Карельском перешейке, например, площади березняков незначительны, лишь в северной ее части. Большие массивы березовых насаждений сосредоточены преимущественно в бассейнах рр. Волхова, Луги, Свири, и др., что и обусловило выбор объекта исследования.

Изучены березняки пяти лесхозов: Сосновского, Киришского, Охтенского, Тосненского и Лисинского. Заложено 48 пробных площадей и срублено 211 модельных и учетных деревьев. Распределение экспериментального материала по типам леса и классам возраста представлено в табл. 1.

Таблица 1

Тип леса	Распределение пробных площадей по классам возраста									Итого
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Березняк-кисличник	1	3	2	2	2	3	8	8	2	31
Березняк-черничник	—	1	1	1	4	2	5	1	2	17

Как видно из приведенных данных, наибольшее число проб заложено в березняках-кисличниках, а по группам возраста — в приспевающих и спелых древостоях.

При сборе материала в основу был положен метод указательных насаждений. На срубленных модельных деревьях на середине двухметровых секций измеряли диаметры в коре и без коры. Кроме того, определяли диаметры и длины крон, а также их вес [5].

Обмеренные насаждения по составу смешанные: 7Б2Е1Ос+С. По форме они одноярусные только до 50-летнего возраста; в приспевающих и спелых древостоях, как правило, присутствует II ярус из ели. Происхождение семенно-порослевое. По полноте они близки к нормально сомкнутым насаждениям. В пределах класса бонитета (и типа леса), как показал анализ срубленных моделей, принадлежат к одному естест-

Возраст, лет	Оставляемая часть насаж					
	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число стволов	Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup>	Видовое число, 0,001	Запас, м <sup>3</sup>
Тип леса — березняк-кисличник,						
10	5,1	3,1	14000	11,0	570	32
20	11,0	7,3	4300	18,0	486	104
30	16,9	11,3	2290	22,9	474	182
40	21,0	15,3	1425	26,2	466	256
50	23,3	18,7	1040	28,2	462	304
60	25,0	21,8	795	29,6	458	339
70	26,3	24,4	655	30,6	456	367
80	27,4	26,8	557	31,4	455	392
Тип леса — березняк-черничник,						
10	5,0	2,5	—	11,0	654	36
20	10,1	6,6	4720	16,1	529	86
30	13,7	10,7	2200	19,8	511	138
40	16,7	14,2	1430	22,6	505	191
50	19,6	17,2	1078	25,3	504	250
60	22,0	19,9	880	27,4	503	306
70	24,5	22,0	766	29,2	500	358
80	26,7	23,4	715	30,7	496	406

венному ряду. На этом основании заложенные пробные площади могли быть использованы для составления эскиза таблиц хода роста для насаждений данной породы, что входило в программу настоящего исследования.

Материал обработан графически и математически. При выравнивании средних высот и диаметров использовано уравнение вида [3]

$$y = a + bA^c,$$

где  $A$  — возраст, лет.

В результате были получены следующие уравнения:  
для березняков-кисличников

$$\frac{1}{H} = 0,0313 + 7,85A^{-1,670};$$

$$\frac{1}{D} = 0,0192 + 6,74A^{-1,50};$$

для березняков-черничников

$$\frac{1}{H} = 0,0057 + 0,939A^{-0,774};$$

$$\frac{1}{D} = 0,0277 + 13,2A^{-1,556}.$$

Суммы площадей сечения  $P$  при полноте 1,0 взяты из стандартной таблицы [2] и увязаны со средними высотами исследуемых насаждений. Видовые числа  $F$  получены через видовые высоты  $H_F$ , которые предварительно были выравнены в зависимости от средних высот. Запас вычислен по формуле

$$M = GHF.$$

Число стволов, среднее и текущее изменение запаса найдены обычными вычислениями.

Таксационные показатели для вырубаемой части насаждения были получены по материалам пробных площадей, где выделяли отпад и устанавливали соотношение между средними высотами, диаметрами и объемами оставляемой и вырубаемой частей насаждения. Общую продуктивность определяли по величине запаса оставляемой части насаждения в данном возрасте и сумме промежуточных пользования. В конечном итоге полученные данные были сведены в табл. 2. Приведенные в ней данные относятся ко всему ярусу в целом.

Таблица 2

дни		Вырубаемая часть			Насаждение в целом		
Измерение запаса, м³		Число стволов	Запас, м³	Сумма запасов, м³	Общая продуктивность, м³	Прирост, м³	
среднее	текущее					средний	текущий
состав 6Б2Ос2Е							
3,2	—	—	7	7	39	3,9	—
5,2	7,2	—	20	27	131	6,5	9,2
6,1	7,8	2010	26	53	235	7,8	10,4
6,4	7,4	865	31	84	340	8,5	10,5
6,1	4,8	385	30	114	418	8,4	7,8
5,7	3,5	245	26	140	479	8,0	6,1
5,2	2,8	140	23	163	530	7,6	5,1
4,9	2,5	98	18	181	573	7,2	4,3
состав 8Б1Ос1Е							
3,6	—	—	6	6	42	4,2	—
4,3	5,0	—	24	30	116	5,8	6,4
4,6	5,2	2520	35	65	203	6,8	8,7
4,8	5,3	770	36	101	292	7,3	8,9
5,0	5,9	352	26	127	377	7,6	8,5
5,1	5,6	198	20	147	453	7,5	7,6
5,1	5,2	114	15	162	520	7,4	6,7
5,1	4,8	51	14	176	582	7,2	6,2

Для более полного представления о продуктивности березовых насаждений приводим также сведения о морфологических показателях крон, запасах сучьев и ветвей, а также зеленой биомассы (табл. 3). Изменение их во времени было установлено графическим путем по данным, полученным на пробных площадях. Эти показатели могут быть использованы при камеральном дешифрировании, а также для учета продуктивности крон, что может представить интерес для производства при рациональном использовании не только запасов стволовой древесины и сучьев, но и зеленой биомассы.

Таблица 3

Возраст, лет	Показатели кроны		Весовая продуктивность абс. сухой биомассы				
	Средний диаметр, см	Средняя длина, м	общая, стволовой части, т	ветвей и сучьев		листьев	
				одной кроны, кг	общая, т	одной кроны, кг	общая, т
Березняк-кисличник							
20	1,7	4,5	48	1,2	5,1	0,9	4,0
40	2,8	7,5	120	5,6	8,0	3,3	4,7
60	3,6	9,5	162	13,1	10,4	5,6	4,4
80	4,2	10,8	192	23,4	13,0	7,9	4,4
Березняк-черничник							
20	1,3	4,5	40	0,3	1,1	0,1	0,4
40	2,2	7,5	90	1,6	2,3	0,5	0,7
60	3,2	9,5	147	6,0	5,3	1,4	1,3
80	4,1	10,8	201	14,1	10,1	3,1	2,2

Результаты исследования были сопоставлены с опубликованными материалами. Анализируя их, можно сделать следующие выводы.

1. В росте по диаметру данные для исследованных нами березняков занимают промежуточное положение между данными Н. В. Огорова

[4] для северо-востока европейской части СССР и Н. Я. Саликова [6] (общие таблицы для березняков СССР). По сравнению с белорусскими данными [1], средние диаметры исследованных нами березняков примерно на 20% меньше, что имеет значение при выявлении товарной структуры насаждений.

2. Средняя высота исследуемых насаждений весьма близка к данным общих таблиц хода роста и белорусских (расхождение  $\pm 1-5\%$ ), таблицы Н. В. Огородова дают отклонение  $-8-13\%$ .

3. Существенное расхождение в запасах ( $-12-21\%$ ) наблюдается лишь при сравнении с данными Н. В. Огородова, что объясняется меньшей полнотой (на 0,1) исследованных им березняков и относительно меньшими средними высотами ( $-10\%$ ); по сравнению с другими опытными таблицами разница в запасах находится в допустимых пределах ( $\pm 1-10\%$ ).

В заключение следует отметить, что при наличии общих таблиц хода роста березняков не устраняется необходимость в местных исследованиях по крупным лесоэкономическим районам, как, например, северо-западному, куда входит Ленинградская область. Такого рода таблицы (по районам) уточняют особенности роста насаждений, что необходимо в целях более правильного учета запасов и приростов.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Атрощенко О. А. Ход роста березовых насаждений БССР по классам бонитета и типам леса. — В кн.: Справочник лесоустроителя Белоруссии. Минск, «Высшая школа», 1972. [2]. Монсеев В. С. Таксация молодняков. Л., ЛТА, 1971. [3]. Никитин К. Е. Лиственница на Украине. Киев, «Урожай», 1966. [4]. Огородов Н. В. Рост сомкнутых березовых насаждений на северо-востоке европейской части СССР. — «Лесное хозяйство», 1951, № 10. [5]. Полубояринов О. И., Давидов Г. М. Плотность древесины и весовая продуктивность березовых насаждений Ленинградской области. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 5. [6]. Саликов Н. Я. Исследование хода роста и нормальной производительности березовых древостоев. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. с.-х. наук, 1976.

Поступила 28 июня 1976 г.

УДК 634.0.56

### ТЕКУЩИЙ ПРИРОСТ ЗАПАСА НАЛИЧНОГО ДРЕВОСТОЯ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЕЛЬНИКОВ

И. И. ГУСЕВ

Архангельский лесотехнический институт

Относительный прирост запаса наличного древостоя  $P_M$  зависит от возрастной структуры и типа леса. При одинаковых условиях местопроизрастания с усложнением возрастной структуры  $P_M$  древостоя повышается. Приведены таблицы для определения  $P_M$  по радиальному приросту, среднему диаметру и возрасту.

Для определения прироста запаса древостоя предложено много способов; самый полный их обзор приведен в монографии В. В. Антанайтиса и В. В. Загреева [1].

Наиболее просто прирост запаса можно определить по таблицам, в которых даны проценты текущего прироста запаса наличного древостоя.

Для таежных ельников такие таблицы мы составили по типам возрастной структуры, типам леса, с учетом среднего возраста, диаметра и радиального прироста. Для составления таблиц использована формула

$$P_M = P_G + P_{FH}, \quad (1)$$

где  $P_M$  — процент прироста запаса наличного древостоя;

$P_G$  — процент прироста сумм площадей сечения наличного древостоя;

$P_{FH}$  — процент прироста видовой высоты (элементарного запаса) наличного древостоя.

Процент прироста площади сечения наличного древостоя определен исходя из диаметра без коры и ширины годичного слоя на высоте 1,3 м от шейки корня. В основу положена формула Пресслера.

$$P_G = \frac{G - G_1}{G + G_1} \frac{200}{n}. \quad (2)$$

Сумму площадей сечения выразим через площадь сечения среднего дерева и количество стволов, которое при определении прироста запаса наличного древостоя не изменяется. Можно записать, что

$$G = gN,$$

а

$$G_1 = g_1N.$$

В формулу вместо  $G$  и  $G_1$  подставим соответствующие им значения, а площадь сечения среднего дерева выразим через диаметр. После несложных преобразований получим

$$P_G = \frac{D^2 - D_1^2}{D^2 + D_1^2} \frac{200}{n}. \quad (3)$$

Диаметр ствола год назад равен

$$D_1 = D - 2t,$$

где  $D$  — диаметр в настоящее время;

$t$  — толщина годичного слоя.

Тогда

$$P_G = \frac{200 [D^2 - (D - 2t)^2]}{D^2 + (D - 2t)^2}. \quad (4)$$

После преобразований получим в окончательном виде формулу для определения  $P_G$

$$P_G = \frac{200 (Dt - t^2)}{0,5D^2 - Dt + t^2}. \quad (5)$$

Значение  $t^2$  обычно невелико, поэтому для простоты расчетов эту величину можно опустить. Тогда получим более простую формулу

$$P_G = \frac{200t}{0,5D - t}, \quad (6)$$

где  $D$  — средний диаметр древостоя без коры, см;

$t$  — средняя толщина годичного слоя на высоте 1,3 м, см.

Процент прироста видовой высоты определен по опытным материалам.

По данным анализа хода роста 218 стволов в разновозрастных ельниках зеленомошных установлена зависимость процента прироста видовой высоты с возрастом  $A$  ( $r = 0,72$ ;  $\eta = 0,74$ ):

$$P_{fh} = \frac{123}{A} - 0,35. \quad (7)$$

Процент прироста видовой высоты отдельного древесного ствола вычисляют по формуле Пресслера. Опытные данные  $P_{fh}$  вычислены с высокой точностью (2—5%). Коэффициент сглаживания между опытными и выравненными  $P_{fh}$  очень высок — 0,98. Однако значения  $P_{fh}$  сильно варьируют (коэффициент варьирования равен 30—40%).

Для условно разновозрастных и разновозрастных еловых древостоев сначала устанавливали зависимость между  $P_{fh}$  и возрастом стволов, а затем между  $P_{FH}$  и средним возрастом древостоя или его естественного поколения.

Среднее значение процента прироста видовой высоты стволов определяли как взвешенное через площади поперечного сечения на высоте груди.

После обработки обширного экспериментального материала (2505 стволов) устанавливали средние изменения  $P_{fh}$  с возрастом деревьев. Опытные  $P_{fh}$  выравняли по уравнениям: для условно разновозрастных ельников зеленомошных

$$P_{fh} = 0,226 + 36,04A^{-1,68}; \quad (8)$$

ельников долгомошных

$$P_{fh} = -0,161 + 9,88A^{-1,08}; \quad (9)$$

для разновозрастных ельников зеленомошных

$$P_{fh} = -2,500 + 8,21A^{-0,33}; \quad (10)$$

ельников долгомошных

$$P_{fh} = -0,024 + 24,02A^{-1,38}, \quad (11)$$

где  $A$  — возраст деревьев в десятках лет.

Теснота связи между  $P_{fh}$  и возрастом деревьев — от умеренной до значительной. Коэффициент варьирования  $P_{fh}$  равен 50—60%.

Таблица 1

Группы типов леса	Тип возрастной структуры [2]	Проценты прироста видовой высоты (элементарного запаса) в возрасте, лет					
		80	100	120	140	160	180
Ельники зеленомошные	О	1,19	0,88	0,68	0,53	0,43	0,42
	УР	1,27	0,97	0,76	0,64	0,56	0,50
" долгомошные	УР	0,83	0,63	0,49	0,39	0,31	0,25
	Р	1,60	1,30	1,06	0,89	0,73	0,60
" долгомошные	Р	1,32	0,97	0,73	0,59	0,48	0,40

Примечание. В разновозрастных древостоях  $P_{FH}$  даны для естественных поколений.

Средние  $P_{FH}$  древостоя вычислены с учетом представленности запаса деревьев различного возраста и выравненных  $P_{jk}$ . Вычисленные для древостоев средние  $P_{FH}$  приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 показывают, что процент прироста видовой высоты зависит от возрастной структуры и типа леса. При одинаковых условиях местопроизрастания с усложнением возрастной структуры  $P_{FH}$  повышается.

С увеличением среднего возраста древостоя  $P_{FH}$  понижается, а после 140 лет остается более или менее постоянным. При определении процента текущего прироста запаса древостоев старше 140 лет наибольшее значение имеет радиальный прирост и средний диаметр. В табл. 2 и 3 приведены проценты текущего прироста запаса наличного древостоя.

Таблица 2

Процент текущего прироста запаса наличного древостоя в одновозрастных ельниках зеленомошных средней подзоны тайги

Возраст, лет	Средний диаметр, см	Процент прироста запаса при средней ширине годичного слоя, мм (на высоте 1,3 м)								
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
40	4	4,74	6,77	8,82	10,89	12,98	15,09	17,22	19,37	21,54
	6	4,07	5,41	6,77	8,13	9,51	10,89	12,28	13,68	15,09
	8	3,73	4,74	5,75	6,77	7,79	8,82	9,85	10,89	11,93
60	6	3,04	4,38	5,74	7,10	8,48	9,86	11,25	12,65	14,06
	8	2,70	3,71	4,72	5,74	6,76	7,79	8,82	9,86	10,90
	10	2,50	3,31	4,11	4,92	5,74	6,56	7,38	8,20	9,03
	12	2,37	3,04	3,71	4,38	5,06	5,74	6,42	7,10	7,79
80	8	2,19	3,20	4,21	5,23	6,25	7,28	8,31	9,35	10,39
	10	1,99	2,80	3,60	4,42	5,23	6,05	6,87	7,69	8,52
	12	1,86	2,53	3,20	3,87	4,55	5,23	5,91	6,59	7,28
	14	1,76	2,34	2,91	3,49	4,07	4,65	5,23	5,81	6,40
	16	1,69	2,19	2,70	3,20	3,71	4,21	4,72	5,23	5,74
120	14	1,25	1,83	2,40	2,98	3,56	4,14	4,72	5,30	5,89
	16	1,18	1,68	2,19	2,69	3,20	3,70	4,21	4,72	5,23
	18	1,12	1,57	2,02	2,47	2,91	3,36	3,82	4,27	4,72
	20	1,08	1,48	1,88	2,29	2,69	3,09	3,50	3,91	4,31
	22	1,04	1,41	1,77	2,14	2,51	2,87	3,24	3,61	3,98
	24	1,01	1,36	1,68	2,02	2,35	2,69	3,03	3,36	3,70
	160	16	0,92	1,42	1,93	2,43	2,94	3,44	3,95	4,46
18	0,86	1,31	1,76	2,21	2,65	3,10	3,56	4,01	4,46	
20	0,82	1,22	1,62	2,03	2,43	2,83	3,24	3,65	4,05	
22	0,78	1,15	1,51	1,88	2,25	2,61	2,98	3,35	3,72	
24	0,75	1,09	1,42	1,76	2,09	2,43	2,77	3,10	3,44	

Примечание. Объем статьи не позволяет привести таблицы полностью. Процент прироста запаса можно рассчитать на основе формул (1), (5) и табл. 1.

Теоретические расчеты показали, что вероятная ошибка процента прироста запаса наличного древостоя по таблицам составит  $\pm 10-12\%$ . М. Л. Дворецкий [3] указывал, что вероятная ошибка не всегда совпадает с фактической. Поэтому представляет интерес проверить таблицы на фактическом материале. Для этого использовано 19 пробных площадей. На каждой пробе процент прироста запаса вычислен по формуле

$$P_M = \frac{100Z_M}{M_A - \frac{n}{2}Z_M}, \quad (12)$$

Таблица 3

Процент текущего прироста запаса наличного древостоя  
естественных поколений разновозрастных ельников зеленомошных  
средней подзоны тайги

Возраст по- коления, лет	Средний диаметр, см	Процент прироста запаса при средней ширине годичного слоя, мм (на высоте 1,3 м)								
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
60	6	3,36	4,70	6,06	7,42	8,80	10,18	11,57	12,97	14,38
	8	3,02	4,03	5,04	6,06	7,08	8,11	9,14	10,18	11,22
	10	2,82	3,63	4,43	5,25	6,06	6,88	7,69	8,52	9,35
80	8	2,60	3,61	4,62	5,64	6,66	7,69	8,72	9,76	10,80
	10	2,40	3,21	4,01	4,83	5,64	6,46	7,28	8,10	8,93
	12	2,27	2,94	3,61	4,28	4,96	5,64	6,32	7,00	7,69
	14	2,17	2,75	3,32	3,90	4,48	5,06	5,64	6,22	6,81
120	14	1,63	2,21	2,78	3,36	3,94	4,52	5,10	5,68	6,27
	16	1,56	2,06	2,57	3,07	3,58	4,08	4,59	5,10	5,61
	18	1,50	1,95	2,40	2,85	3,29	3,74	4,20	4,65	5,10
	20	1,46	1,86	2,26	2,67	3,07	3,47	3,88	4,29	4,69
	22	1,42	1,79	2,15	2,52	2,89	3,25	3,62	3,99	4,36
	24	1,39	1,73	2,06	2,40	2,73	3,07	3,41	3,74	4,08
160	16	1,23	1,73	2,24	2,74	3,25	3,75	4,26	4,77	5,28
	18	1,17	1,62	2,07	2,52	2,96	3,41	3,87	4,32	4,77
	20	1,13	1,53	1,93	2,34	2,74	3,14	3,55	3,96	4,36
	22	1,09	1,46	1,82	2,19	2,56	2,92	3,29	3,66	4,03
	24	1,06	1,40	1,73	2,07	2,40	2,74	3,08	3,41	3,75

где  $Z_M$  — текущий средний периодический прирост запаса наличного древостоя, м<sup>3</sup>;

$M_A$  — запас древостоя в настоящее время без коры, м<sup>3</sup>;

$n$  — продолжительность периода, за который определен прирост (10 лет).

Средний периодический прирост запаса наличного древостоя ус-  
танавливали по объемам стволов в настоящее время и 10 лет назад

$$Z_M = \frac{M_A - m_{A-n}}{n},$$

где  $m_{A-n}$  — начальный запас того же количества деревьев, которое составляло древостой в возрасте  $A$  лет.

Ошибки таблиц показаны в табл. 4.

Таблица 4

Тип возрастной структуры древостоя	Количе- ство проб	Проценты ошибок			
		система- тических	средних квадрати- ческих	наибольших	
				от	до
Одновозрастные	5	- 1,0	± 6,4	+ 3,0	- 12,4
Условно разновозрастные	8	- 2,6	± 5,5	+ 8,2	- 10,2
Разновозрастные (естест- венные поколения)	6	- 1,3	± 9,7	+ 11,1	- 16,3
Все типы	19	- 1,6	± 7,7	+ 3,0	- 16,3

Таким образом, таблицы процента прироста запаса наличного дре-  
востоя дают удовлетворительную точность при условии правильного их  
применения.

Порядок применения таблиц следующий.

1. Определяют запас древостоя, используя измерительные способы таксации. При этом следует иметь в виду, что ошибка в запасе окажет влияние на точность определения текущего прироста.

2. Методом случайной выборки отбирают 30 деревьев, у которых определяют радиальный прирост на высоте 1,3 м от шейки корня за 10 лет или другой период.

3. Вычисляют средний диаметр древостоя; при точных работах — по данным перечислительной таксации. При характеристике прироста лесного фонда вычисляют средний арифметический диаметр в коре по данным обмера диаметров учетных деревьев. В этом случае от среднего арифметического диаметра древостоя переходят к среднему квадратическому

$$D_g = D_N \omega.$$

Эмпирическим путем мы установили, что в еловых древостоях

$$\omega = 1,035 + 1,374 D_N^{1,89}. \quad (13)$$

По формуле (13) величина поправки  $\omega$  и  $D_g$  для разных значений  $D_N$  составляет (табл. 5):

Таблица 5

$D_N$	6	8	10	12	16	20	24	28
$\omega$	1,094	1,069	1,057	1,051	1,044	1,041	1,039	1,038
$D_g$	6,6	8,6	10,6	12,6	16,7	20,8	24,9	29,0

4. Определяют толщину коры на высоте 1,3 м, а затем средний диаметр без коры. Толщину коры стволов измеряют в процессе определения радиального прироста или берут из таблиц.

5. По средним диаметрам без коры, ширине годичного слоя, возрасту в таблицах соответствующего типа леса находят процент прироста запаса древостоя  $P_M$ .

6. Абсолютный текущий прирост вычисляют по формуле

$$Z_M = \frac{P_M M_A}{100 + \frac{n}{2} P_M}. \quad (14)$$

Для определения запаса без коры  $M_A$  используют соотношение, установленное нами для ельников Севера,

$$M_{б/к} = (1 - 0,132) M_{в/к} = 0,868 M_{в/к}. \quad (15)$$

В разновозрастных ельниках прирост определяют по естественным поколениям, в условно разновозрастных — в целом для древостоя.

На основании изложенных приемов определения абсолютного прироста запаса наличного древостоя на пробных площадях со сплошной рубкой деревьев отобрано 120 выборок, в каждой по 30 учетных деревьев. Вычислен прирост по таблицам и сопоставлен с истинным его значением. Систематическая ошибка по всем 120 вариантам составила — 0,2%, средняя квадратическая  $\pm 10\%$ . Индивидуальные ошибки достигают  $\pm 25-30\%$ , но вероятность их появления мала. Случайные ошибки распределяются по закону Лапласа — Гаусса. На основании

этого закона можно заключить, что из 100 таксируемых древостоев у 68 прирост запаса будет отличаться от истинного не более  $\pm 10\%$ , у 27 древостоев — от  $\pm 10$  до  $\pm 20\%$  и у 5 — от  $\pm 20$  до  $\pm 30\%$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Антанайтис В. В., Загреев В. В. Прирост леса. М., «Лесная промышленность», 1969. [2]. Гусев И. И. Тилы возрастной структуры еловых древостоев Севера. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 5. [3]. Дворецкий М. Л. Текущий прирост древесины ствола и древостоя. М., «Лесная промышленность», 1964.

Поступила 22 июня 1976 г.

УДК 634.0.524.31

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОБЩЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОДАЛЬНЫХ ДРЕВОСТОЕВ

А. И. ПИТИКИН, В. П. КИЧУРА

Львовский лесотехнический институт

Карпатский филиал УкрНИИЛХА

Предлагается новый метод расчета общей производительности модальных насаждений по данным временных пробных площадей с учетом динамики восстановления полноты.

В настоящее время широкое распространение получили работы по составлению таблиц хода роста модальных древостоев. При этом пользуются общепринятой методикой, применяемой к древостоям максимальной сомкнутости. Однако модальные древостои — это специфический объект исследования, в котором вместе с возрастной динамикой средних значений таксационных показателей изменяется полнота. Особенностью ныне составляемых таблиц хода роста является постоянство полноты древостоя в течение всей его жизни. Если же полнота меняется, то это обуславливается случайным набором пробных площадей, часто не отражающих общих закономерностей изменения полноты. Во всех таблицах хода роста модальных древостоев отмечается их более низкая продуктивность по сравнению с сомкнутыми древостоями. В связи с этим напрашивается вывод о нецелесообразности выращивания модальных древостоев.

Занижение общей производительности модальных древостоев, на наш взгляд, связано с применением методики составления таблиц хода роста, не учитывающей динамики изменения числа стволов и запаса отпада и самой полноты с возрастом. Практически ныне существующие таблицы хода роста дают лишь выравненные таксационные показатели верхнего полога по десятилетиям, а не их фактическую динамику во времени. Стабильность полноты в течение жизни древостоев не отражает естественного хода роста. Поэтому часть таблиц, характеризующая отпад, дает абстрактные цифры, не моделирующие течение биологических процессов в лесу. Например, в нормальных сосновых древостоях I класса бонитета, по данным А. В. Тюрина, за 80 лет (с 20 до 100-летнего возраста) отмирает 3500 стволов (3970—470). Если в начале каждого десятилетия вырубить деревья, которые отомрут за 10 последующих лет, то такая группа древостоев дает один естественный ряд, пригодный для составления таблиц хода роста по методике ЦНИИЛХА. Пользуясь этой методикой, для указанной группы сосновых древостоев получаем

отпад в количестве 1974 стволов на 1 га (2400—426). На самом деле отпада здесь практически не будет, так как все кандидаты на отмирание были вырублены 10 лет назад. Такой подход к установлению звеньев естественного ряда и их дальнейшей обработке приводит к значительным ошибкам в определении отпада и общей производительности модальных древостоев.

Установленные многочисленными исследованиями факты повышения полноты после проведения рубок ухода говорят о том, что полнота в модальных древостоях с течением времени должна восстанавливаться. Это положение надо принять за основу расчета общей производительности модальных древостоев. Установление общей производительности затрудняется сложностью вычисления запаса древесины, вырубимой за весь период выращивания леса. Вопрос этот сложен и практически не разработан. Мы предлагаем один из путей решения этого вопроса для модальных древостоев.

Ранее [5] нами была предложена методика расчета сроков восстановления полноты в прореживаемых ельниках Закарпатья на основании данных однократных обмеров пробных площадей. В результате вырубки деревьев по низовому методу в древостоях продолжительное время (в зависимости от интенсивности рубки) не наблюдается отпада стволов. Тогда связь текущего прироста по запасу ( $Z_M^{тек}$ ), наличных запасов ( $M_A, M_{A-n}$ ) в возрасте  $A$  и  $A-n$  лет и отпада ( $M^{отп}$ ) выражается формулой:

$$Z_M^{тек} = M_A - M_{A-n} + M^{отп} = M_A - M_{A-n} + 0,$$

т. е. весь текущий прирост древесины пойдет на накопление запаса, он становится равным текущему изменению запаса. По нашим расчетам [5], текущий прирост запаса ельников Карпат с полнотой 0,8 в 1,2—3,1 раза выше, чем текущее изменение запасов сомкнутых древостоев (полнота 1,0). Этим обуславливается восстановление полноты в древостоях, пройденных рубками ухода.

Построив линии зависимости запасов от возраста древостоев (полнота 1,0; 0,8 и 0,7) и имея данные текущего прироста этих древостоев, легко рассчитать сроки восстановления полноты в любом их возрасте.

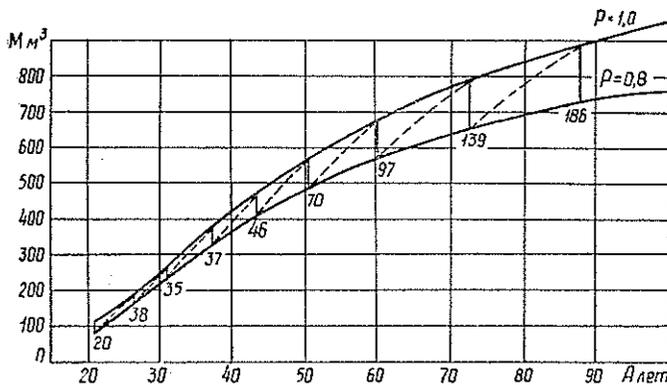


Рис. 1. Динамика восстановления запаса в ельниках с полнотой 0,8 (пунктирные линии показывают ход накопления запаса в прореживаемых древостоях, цифры—количество вырубимой древесины).

Из рис. 1 видно, что если изредить древостой до полноты 0,8, то накопление древесины пойдет быстрее, чем при сомкнутом стоянии деревьев. Через определенное время, продолжительность которого зависит от интенсивности рубки, возраста древостоев и условий местопроизрастания, полнота вновь достигает 1,0. Поэтому если в основу построения таблиц хода роста модальных древостоев положить стабильность полноты, то общая производительность будет равна сумме наличного запаса древостоя в начальном ( $M_n$ ) и конечном ( $M_k$ ) возрастах и количеству вырубленной за этот период древесины ( $M_{\text{выр}}$ ). Последняя величина может быть получена как разность между запасами древостоев в момент достижения полноты 1,0 и запасами древостоев в этом возрасте при исследуемой полноте выращивания древостоев (табл. 1).

Таблица 1

Возраст, лет	Запас древесины, м <sup>3</sup> /га				
	сомкнутых древостоев (полнота 1,0)	при полноте 0,8		при полноте 0,7	
		наличной	вырубаемой	наличной	вырубаемой
20	110	90	20	76	34
25	189	151	38	—	—
30	267	232	35	—	—
32	297	—	—	199	98
36	356	319	37	—	—
42	441	395	46	—	—
46	495	—	—	331	164
50	552	482	70	—	—
60	664	567	97	—	—
64	706	—	—	474	232
72	780	641	139	—	—
87	881	695	186	594	287
Итого к 87 годам			666		815

Общая производительность еловых насаждений Закарпатья к 87 годам вычисляется по формуле:

$$M_{87}^{0,6} = M_n^* + M_k + M_{\text{выр}} = M_{20} + M_{87} + M_{\text{выр}}$$

и в древостоях с полнотой 0,8 равна 1451 м<sup>3</sup> (90\*+695+666), 0,7 — 1485 м<sup>3</sup> (76+594+815). К этому времени производительность полных древостоев, полученная как сумма наличного запаса и естественного отпада, составит 1370 м<sup>3</sup> [4].

Как видно, общая производительность древостоев (табл. 1) выращиваемых при полноте 0,8—0,7, на 6—8% выше, чем полных. Это связано с улучшением почвенно-световых условий, благоприятно влияющих на прирост древостоев. Величина дополнительного почвенно-светового прироста в ельниках Карпат составляет 1,0—3,8 м<sup>3</sup> в год [6]. Между тем, если расчет производить по формуле

$$M_{87}^{0,6} = M_{20} + \sum M^{\text{тек}} = M_{20} + \int_{20}^{87} Z_M^{\text{тек}} dA,$$

\*Здесь и в последующих расчетах общая производительность древостоев в начальном возрасте принимается равной их наличным запасам.

то получается, что общая производительность модальных древостоев на 12—20% ниже, чем полных. Аналогичная картина наблюдается и по другим древесным породам (табл. 2).

Таблица 2

Автор способа	Порода	Возраст, лет	Полнота	Общая производительность	
				по формуле $M_n + \sum Z_M^{\text{тек}}$	по предлагаемому способу $M_n + M_k + M_{\text{выр}}$
А. И. Питикни [4]	Ель	87	1,0	1370	1370
			0,8	1207	1451
			0,7	1090	1485
В. П. Кичура [2]	Пихта	96	1,0	1502	1502
			0,85	1419	1590
			0,76	1096	1266
Г. В. Лисица [3]	Бук	117	1,0	1343	1343
			0,8	1270	1314
В. Ф. Балахонов [1]	Дуб	90	1,0	666	666
			0,8	566	669

Чтобы получить реальную картину изменения общей производительности древостоев в связи с хозяйственными воздействиями в настоящее время, крайне необходимо для разных пород и лесорастительных районов исследовать оптимальную полноту выращивания древостоев, обуславливающую максимальный их прирост, наилучшую биологическую устойчивость и выполнение важнейших биосферозащитных функций.

Изложенное свидетельствует о том, что существующие таблицы хода роста модальных древостоев не характеризуют их хода роста во времени. Отпад, промежуточное пользование, товарная структура древостоев будут меняться в зависимости от режима ведения хозяйства. Фактические значения этих показателей по общепринятой методике получить невозможно. Необходимо учитывать динамику восстановления полноты древостоев. Предложенный нами способ может быть применен для расчета общей производительности древостоев. Он вносит существенные поправки в методику составления таблиц хода роста модальных древостоев и доказывает, что понижение общей производительности модальных древостоев не наблюдается, если степень изреживания древостоев не приводит к отрицательным явлениям в их росте и устойчивости.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Балахонов В. Ф. Текущий прирост и особенности хода роста семенных дубрав естественного происхождения в центральной лесостепи. Автореф. на соиск. учен. степени канд. с.-х. наук. Брянск, 1967. [2]. Кичура В. П. Особенности строения и текущий прирост естественных пихтарников Буковинских Карпат. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. с.-х. наук. Брянск, 1974. [3]. Лисица Г. В. Особенности роста и текущий прирост условно разновозрастных буковых насаждений Закарпатья. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. с.-х. наук. Брянск, 1969. [4]. Питикни А. И. Рост и производительность ельников Закарпатья разной густоты. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1967, № 4. [5]. Питикни А. И. Динамика восстановления полноты в прореживаемых ельниках Закарпатья. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1971, № 2. [6]. Піткіні А. І. Структура і продуктивність природних лісів Українських Карпат. — В кн.: Підвищення ефективності лісових підприємств. Львів, «Каменяр», 1974.

Поступила 19 октября 1976 г.

УДК 634.0.561.21 : 634.0.181.4

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА У СОСНЫ И ЕЛИ

Г. Б. ГОРТИНСКИЙ, А. И. ТАРАСОВ

Архангельский лесотехнический институт

Комингпронилеспром

В условиях севера хвойно-широколиственной подзоны в шести типах леса на 10 пробных площадях изучена динамика годичного прироста ели и сосны. Синхронность динамики возрастала с приближением условий экотона к оптимальному уровню.

В литературе накоплен большой фактический материал по выявлению сопряженных связей годичного прироста древесины сосны и ели с факторами внешней среды (солнечной активностью, осадками, температурой и т. д.). Однако сведений о характере изменчивости годичного прироста древесины сосны и ели при совместном их произрастании еще довольно мало. В связи с этим нами была предпринята попытка сравнить динамику годичного прироста древесины сосны и ели, произрастающих совместно в условиях различных экотопов.

Исследования проводили на территории Советского лесхоза Кировской области, расположенного в 150—200 км к северу от южной границы распространения ели. Объектами служили сосновые, сосново-еловые и еловые типы леса на песчаных и супесчаных почвах, подстилаемых флювиогляциальными песками. Было заложено 10 пробных площадей в шести типах леса; их таксационная характеристика приведена в табл. 1.

На каждой пробной площади у 20—25 учетных деревьев на высоте 1,3 м от шейки корня с четырех сторон приростным буровом Пресслера брали образцы древесины. Ширину годичных колец определяли с помощью бинокулярной лупы МБС-1, цена деления микрометрической шкалы 0,05 мм.

Для решения поставленной задачи были использованы различные способы определения сходства многолетней динамики прироста древесины сосны и ели. Расчеты, произведенные на основе сравнения отклонений от скользящей средней, показали довольно низкую степень сходства; отклонений от среднеарифметического значения прироста — относительно более высокую (рис. 1). Степень сходства многолетней динамики прироста древесины сосны и ели при совместном их произрастании в различных типах леса показана в табл. 2.

Все способы определения степени сходства динамики прироста древесины сосны и ели показали, что чем благоприятнее лесорастительные условия экотопа, тем выше степень сходства, и, наоборот, чем беднее питательными веществами и суше почва, тем ниже сходство (табл. 2, рис. 1). Однако в многолетней динамике на любое существенное отклонение от средних многолетних климатических условий обе породы, независимо от условий экотопа, реагируют сходным образом.

Таблица 1

Номер пробной площади	Тип леса	Положение в рельефе	Почва	Состав древостоя	Полнота	Высота, м		Диаметр, см		Возраст, лет		Класс бонитета
						С	Е	С	Е	С	Е	
1	Сосняк лишайниково-зеленомошный	Вершина высокой дюны	Песчаная сухая	10С+Е	0,5	18	12	30	14	140	90	IV
3	Сосняк зеленомошный	Вершина невысокой дюны	То же	10С+Б,Е	0,5	19	14	30	16	130	80	III
4	Сосняк брусничный	Верхняя часть склона	Супесчаная	10С+Е	0,6	22	15	32	18	140	100	III
5	То же	Сглаженная вершина	"	10С+Е	0,6	24	16	28	18	130	90	II
6	Сосняк-ельник черничный	Выравненная часть дюны	Супесчаная свежая	5Е4С1Б+Ос	0,7	26	25	30	26	120	100	II
7	То же	Пологий склон	То же	6С4Е+Б	0,8	27	25	32	28	110	90	I
8	Сосняк чернично-вейниковый	Выравненный участок	"	7С2Е1Б	0,6	26	24	30	28	120	90	I
9	Ельщик кисличный	Нижняя часть склона	"	9Е1Б+С,Пх	0,7	28	26	36	30	160	120	II
10	То же	Нижняя часть склона	"	8Е1С1Б+Пх	0,8	26	24	30	26	120	90	I

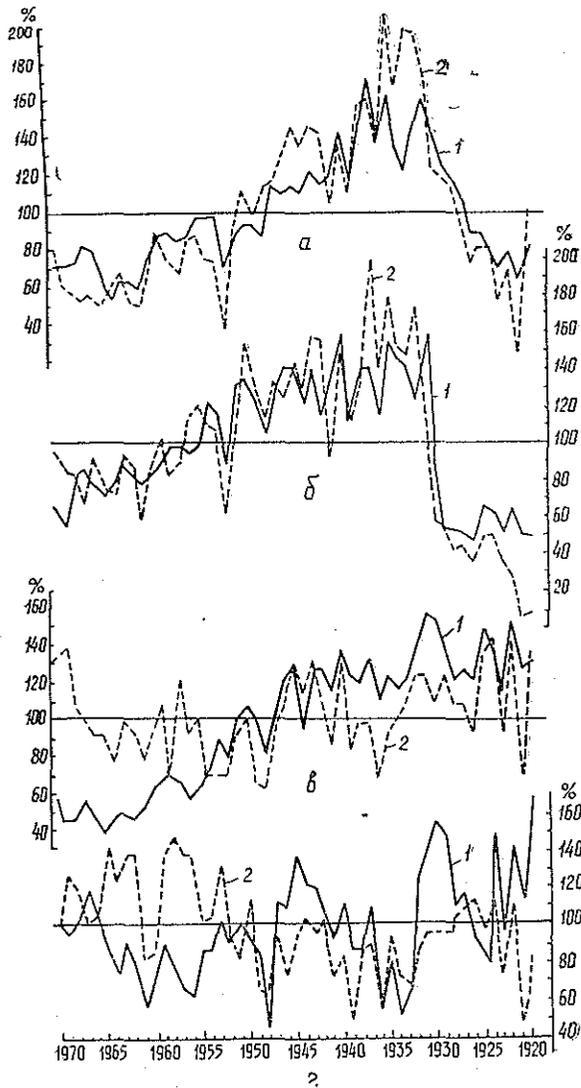


Рис. 1. Многолетняя динамика годичного прироста древесины сосны и ели при совместном произрастании в условиях различных типов леса (процент к среднему арифметическому).

а — ельник кисличный; б — ельник-сосняк черничный; в — сосняк зеленомошный; г — сосняк лишайниково-зеленомошный.

1 — сосна; 2 — ель.

Таблица 2

Номер пробной площади	Тип леса	Степень сходства $r$
1	Сосняк лишайниково-зеленомошный	$0,02 \pm 0,143$
3	Сосняк зеленомошный	$0,38 \pm 0,122$
4	Сосняк брусничный	$0,54 \pm 0,101$
5	То же	$0,70 \pm 0,073$
6	Сосняк-ельник черничный	$0,86 \pm 0,037$
7	То же	$0,84 \pm 0,042$
8	Сосняк чернично-вейниковый	$0,89 \pm 0,030$
9	Ельник кисличный	$0,90 \pm 0,027$
10	То же	$0,81 \pm 0,049$

Поступила 24 июня 1976 г.

УДК 311.16 : 634.0.5

**ВАРЬИРОВАНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
В РАЗНОВОЗРАСТНОМ СОСНОВОМ ЛЕСУ***П. М. ВЕРХУНОВ*

Марийский политехнический институт

На большом экспериментальном материале получены данные о варьировании таксационных признаков в сосновых лесах Сибири, отличающихся сложной возрастной структурой. Составлены их математические модели в зависимости от ряда природных факторов. Отмечается неоднородность строения различных структурных частей насаждения и необходимость изучения полога и прироста леса через их относительные показатели.

Выявление закономерностей варьирования таксационных показателей в древостоях необходимо для решения проблемы повышения продуктивности леса. Оно важно также для разработки более совершенной технологии и методов лесоучетных работ, математического моделирования процесса роста древостоев и решения ряда других лесохозяйственных задач.

Исследования мы проводили в сосняках различной возрастной структуры, от разновозрастных до разновозрастных, произрастающих в районах Западной и Средней Сибири. Основным материалом изучения послужили данные 70 пробных площадей со сплошной рубкой и обмером стволов. Число срубленных деревьев сосны на всех пробах — около 200. Использовали также пробы лесоустройства с достаточным количеством учетных и модельных деревьев. Значительное количество проб приходится на брусничный (III—IV классы бонитета) и разнотравный (II—III классы бонитета) типы сосняков Приангарья. В изучаемых разновозрастных древостоях можно выделить от двух до четырех выраженных поколений, с интервалами средних возрастов между ними от 32 до 125 лет. Древостои их — условно разновозрастные и условно разновозрастные. Средний возраст разновозрастных сосняков от 72 до 223 лет.

Исследования показали, что варьирование таксационных показателей в сосновых лесах Сибири значительно. Это обусловлено влиянием биоценотических, эколого-географических и генетических факторов. Полученные средние показатели варьирования приведены в табл. 1.

Исследования показали, что по мере усложнения возрастной структуры в сосняках закономерно возрастает варьирование диаметров, видовых высот, объемов стволов, площадей проекций и объемов крон, всех показателей прироста деревьев.

Возрастная структура сосняков не оказывает существенного влияния на величину варьирования признаков, характеризующих глубину полога леса: высоту деревьев и протяженность их крон. В этих биогеоценотических лесорастительная среда используется особями одинаково. Вновь появляющиеся в разновозрастном лесу поколения заполняют экологическую нишу лишь до уровня разновозрастного. Это положение приобретает важное значение для сравнительной оценки продуктивности сосняков по запасу в зависимости от их возрастной структуры.

По свободному, независимому типу в сосняках различной возрастной структуры варьируют коэффициенты формы и видовые числа стволов.

В пределах типов возрастной структуры закономерно падает с возрастом древостоя изменчивость диаметров, высот, видовых высот и

Таблица 1

Таксономические показатели	Средние значения коэффициентов изменчивости, %, по типам возрастной структуры древостоев и возрастным этапам развития поколений, лет												Разно-возрастный
	Одновозрастный				Условно одновозрастный				Условно разновозрастный				
	61-120	121-180	181-240	241-320	61-120	121-180	181-240	241-320	61-120	121-180	181-240	241-320	
$d_{1,3}$	29	24	21	16	26	23	19	16	36	30	24	20	40
$h$	18	14	9	11	14	12	11	11	20	16	13	11	22
$V_{ств}$	55	45	41	35	57	47	40	35	78	62	48	43	77
$q_2$	Во всех категориях древостоев 8%												
$f$	Во всех категориях древостоев 11%												
$h_f$	16	15	14	10	17	16	14	10	26	22	17	15	23
$l_{кр}$	36	33	29	28	33	29	28	28	36	33	29	28	36
$P_{кр}$	26	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	25	26
$S_{кр}$	—	—	—	—	82	70	66	57	85	72	69	—	81
$V_{кр}$	—	—	—	—	95	90	77	73	113	93	80	—	94
$Z_d, Z_V$	46	46	46	48	48	48	48	48	50	50	50	50	61
$Z_g, Z_V$	65	61	—	—	68	63	58	52	78	66	62	55	65
$Z_h, Z_V$	38	38	38	43	43	43	43	43	46	46	46	46	69
$Z_V, Z_V$	44	—	—	—	50	41	37	34	55	50	47	40	57
$P_d$	42	42	42	48	48	48	48	48	52	52	52	52	84
$P_h$	39	39	39	47	47	47	47	47	50	50	50	50	80
$P_V$	37	37	37	46	46	46	46	46	49	49	49	49	82

объемов стволов, и не меняется варьирование коэффициентов формы и видовых чисел стволов.

Корреляционная связь между  $C_d$  и  $C_A$  деревьев в сосняках различной возрастной структуры оценивается, как значительная ( $\eta = 0,689 \pm \pm 0,051$ ). Уравнение регрессии между ними имеет вид

$$C_d = 0,00032C_A^3 - 0,0283C_A^2 + 1,262C_A + 16,3.$$

В пределах типов возрастной структуры связь  $C_d$  и  $A_{cp}$  древостоя выступает, как тесная обратная (в одновозрастных  $\eta = 0,715 \pm \pm 0,136$ ; в условно одновозрастных  $\eta = 0,770 \pm \pm 0,046$ ; в условно разновозрастных  $\eta = 0,790 \pm \pm 0,070$ ). Уравнения регрессии

$$C_d = 37,74 - 0,127A_{cp} + 0,00018A_{cp}^2;$$

$$C_d = 46,68 - 0,157A_{cp} + 0,0002A_{cp}^2;$$

$$C_d = 49,45 - 0,141A_{cp} + 0,00013A_{cp}^2.$$

Корреляционная связь между  $C_h$  и  $C_d$  деревьев в совокупностях древостоев проявляется, как значительная ( $\eta = 0,651 \pm 0,056$ ). Регрессия между рассматриваемыми показателями выражается формулой:

$$C_h = 0,0023C_d^2 + 0,169C_d + 12,9.$$

Связь варьирования высот и возраста древостоев тесная обратная (в одновозрастных  $\eta = 0,727 \pm 0,130$ ; в условно одновозрастных  $\eta = 0,757 \pm 0,048$ ; в условно разновозрастных  $\eta = 0,748 \pm 0,091$ ). Уравнения регрессии по этим типам возрастной структуры имеют вид

$$C_h = 27,15 - 0,137A_{cp} + 0,00025A_{cp}^2;$$

$$C_h = 28,46 - 0,131A_{cp} + 0,00022A_{cp}^2;$$

$$C_h = 26,68 - 0,078A_{cp} + 0,00007A_{cp}^2.$$

Подтверждается вывод других исследователей о наличии тесной связи между изменчивостью диаметров и высот деревьев в древостоях. В исследованных сосняках эта связь высокая ( $\eta = 0,878 \pm 0,023$ ). Корреляционное уравнение связи.

$$C_h = -0,00043C_d^3 + 0,0431C_d^2 - 0,904C_d + 16,4.$$

Корреляционная связь между коэффициентами изменчивости объемов  $C_v$  и возрастом деревьев  $C_d$  в сосняках значительная ( $\eta = 0,606 \pm 0,062$ ) и передается формулой

$$C_v = 0,0015C_d^2 + 0,764C_d + 47,6.$$

В сосняках всех типов возрастной структуры наблюдается биологически обусловленное уменьшение варьирования  $C_v$  с возрастом. Связь эта тесная обратная (в одновозрастных  $\eta = 0,719 \pm 0,138$ ; в условно одновозрастных  $\eta = 0,735 \pm 0,052$ ; в условно разновозрастных  $\eta = 0,741 \pm 0,023$ ). По типам возрастной структуры она выражается соответственно уравнениями регрессии:

$$C_v = 90,4 - 0,371A_{cp} + 0,00059A_{cp}^2;$$

$$C_v = 94,76 - 0,314A_{cp} + 0,00041A_{cp}^2;$$

$$C_v = 109,88 - 0,388A_{cp} + 0,00052A_{cp}^2.$$

Коэффициент изменчивости  $C_v$  в сосняках тесно связан с величиной  $C_d$  стволов ( $\eta = 0,932 \pm 0,011$ ). Корреляционное уравнение связи между ними имеет вид

$$C_v = 1,42 + 2,03C_d.$$

Так же с возрастом древостоя падает варьирование протяженности, площади проекции и объема кроны деревьев.

Показатели прироста деревьев, по сравнению с остальными признаками, в сосняках наиболее изменчивы. По мере усложнения возрастной структуры леса закономерно возрастает варьирование всех показателей прироста. Связь между коэффициентом изменчивости прироста диаметра, высоты, объема ствола и варьированием возраста деревьев значительная ( $\eta = 0,672 \div 0,910$ ), и ее математические модели аппроксимируются уравнениями регрессии

$$C_{Z_d} = 41,04 + 0,799C_d - 0,0066C_d^2;$$

$$C_{Z_h} = 37,0 + 0,782C_A - 0,0033C_A^2;$$

$$C_{P_h} = 34,67 + 1,52C_A - 0,0109C_A^2;$$

$$C_{Z_{V_3}} = 40,53 + 0,522C_A - 0,0013C_A^2;$$

$$C_{Z_g}(C_{Z_V}) = 54,51 + 0,494C_A - 0,002C_A^2;$$

$$C_{P_V} = 34,45 + 1,459C_A - 0,0079C_A^2.$$

В пределах типов возрастной структуры с увеличением возраста насаждений закономерно падает изменчивость  $Z_g$  и  $Z_V$  деревьев. Связь эта значительная обратная (в условно одновозрастных  $\eta = 0,660 \pm 0,091$ ; в условно разновозрастных  $\eta = 0,760 \pm 0,020$ ). Уравнения регрессии имеют вид

$$C_{Z_g}(C_{Z_V}) = 75,76 - 0,068A_{cp} - 0,00008A_{cp}^2;$$

$$C_{Z_g}(C_{Z_V}) = 88,99 - 0,135A_{cp} + 0,00006A_{cp}^2.$$

Отмечается также систематическое падение по мере старения леса значений изменчивости элементарного прироста объема  $Z_{V_3}$ . Варьирование остальных показателей прироста в сосняках различных возрастов осуществляется по свободному, независимому типу.

В различных структурных частях сосняков неодинаково проявляется неоднородность микросреды местообитания, по-разному отражаются конкурентные взаимоотношения особей и различен процесс дифференциации деревьев. Это влечет за собой более сильное варьирование в тонкомерной части леса  $h$ ,  $l_{кр}$ ,  $S_{кр}$ ,  $V_{кр}$ ,  $Z_d$ ,  $Z_h$ ,  $P_d$ ,  $P_h$  и  $P_V$  деревьев. По свободному, независимому типу в отдельных структурных группах древостоя варьировать  $V_{ств}$ ,  $q_2$ ,  $f$ ,  $Z_g$ ,  $Z_V$  и  $Z_{V_3}$  деревьев.

Проценты протяженности крон, объемного прироста и относительные приросты объема в сосняках характеризуются значительно меньшей изменчивостью, чем абсолютные значения этих признаков. Поэтому изучать полог и прирост леса более целесообразно через их относительные показатели, что ведет к заметному сокращению числа наблюдений при сохранении заданной точности работ. При лесоучетных работах в разновозрастных сосняках оценивать показатели прироста рекомендуется только по выделяемым поколениям леса.

Поступила 16 июля 1976 г.

УДК 634.0.244

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РУБОК УХОДА ЗА ЛЕСОМ

В. Г. СТОРОЖЕНКО

Московский лесотехнический институт

Связь зараженности деревьев дереворазрушающими грибами с их высотой, наиболее значительная в возрасте древостоя 50—55 лет, является основанием для рекомендаций проведения в этом возрасте наиболее интенсивных рубок ухода с целью формирования к возрасту главных рубок свободного от гнилей древостоя.

Изучение консортивных связей между грибами и высшими растениями в системе лесного биогеоценоза представляет не только теоретический, но и большой практический интерес. Примером этого является выяснение распространения грибов-паразитов в естественных биогеоценозах в процессе роста насаждений и использование этих данных для обоснования рубок ухода.

Наряду с породой, качеством ствола, положением дерева в биогруппе, одним из наиболее важных показателей при назначении деревьев в рубку является соотношение высоты и диаметра дерева, т. е. положение его в вертикальной структуре древостоя. В связи с этим степень участия грибов в биогеоценозе, т. е. определение размеров поражения древостоя, мы выражали также через степень связи зараженности с диаметрами и высотами деревьев.

Исследования проводили в естественных ельниках Валдайской возвышенности, в насаждениях высшей производительности; тип леса — ельник-кисличник, возраст — 35, 55, 65, 85 и 100 лет. Согласно методике ЦНИИЛХа, выделенные насаждения относились к одному естественному ряду.

Для детальных исследований было выделено 5 пробных площадей, по одной в каждом классе возраста. У всех деревьев на выделенных пробных площадях измеряли диаметр и высоту, определяли зараженность дереворазрушающими грибами. Для этого производили бурение всех деревьев буровом Пресслера на трех уровнях — у корня, в комле и на половине высоты ствола. При обнаружении гнили бурение проводили через 1—2 м по высоте ствола до места ее выклинивания. Состав возбудителей болезней определяли в лабораторных условиях по чистым культурам грибов.

Основным возбудителем болезни в насаждениях до 35 лет является корневая губка, в насаждениях более старшего возраста, кроме корневой губки, появляются еловая губка, еловый трутовик, северный трутовик, опенок, трутовик Швейница. Приведенные ниже выводы касаются зараженности насаждений, вызванной всеми перечисленными грибами, включая и корневую губку. Особенности ее распространения в насаждениях до 35—40 лет в условиях Валдайской возвышенности рассмотрены нами ранее [2].

Цель данной работы — определить возраст насаждений, в котором целесообразнее всего проводить рубки ухода, направленные на формирование к возрасту спелости свободного от гнилей насаждения в условиях Валдайской возвышенности.

При вычислении степени связи зараженности с диаметрами и высотами деревьев был использован корреляционный анализ. Достовер-

ность коэффициента корреляции вычисляли по критерию F. Для всех вычислений предполагается 5%-ный уровень значимости. Коэффициенты корреляции, характеризующие связь между зараженностью деревьев поразрушающими грибами и их диаметрами и высотами, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Возрастные группы, лет	Коэффициенты корреляции	
	для диаметров	для высот
35	$-0,009 \pm 0,0$	$-0,38 \pm 0,22$
55	$-0,18 \pm 0,107$	$-0,70 \pm 0,078$
65	$-0,02 \pm 0,0$	$-0,41 \pm 0,11$
85	$-0,33 \pm 0,12$	$-0,60 \pm 0,08$
100	$+0,23 \pm 0,12$	$\pm 0,23 \pm 0,12$

Связь зараженности деревьев с диаметрами оказалась незначительной. Следовательно диаметр не способен отразить патологическое состояние деревьев.

Связь зараженности деревьев грибами с высотой их в разные периоды жизни насаждений различна, а в возрасте 55 и 85 лет значительная ( $-0,70$  и  $-0,60$ ).

Таким образом, для формирования в дальнейшем здорового древостоя наиболее интенсивные рубки ухода предлагается проводить в 45—60-летнем его возрасте. Так как выявленная связь обратная, то следует выбирать, прежде всего, деревья подчиненных ярусов насаждений. Подтверждение этому можно видеть на рис. 1. Графики отражают ве-

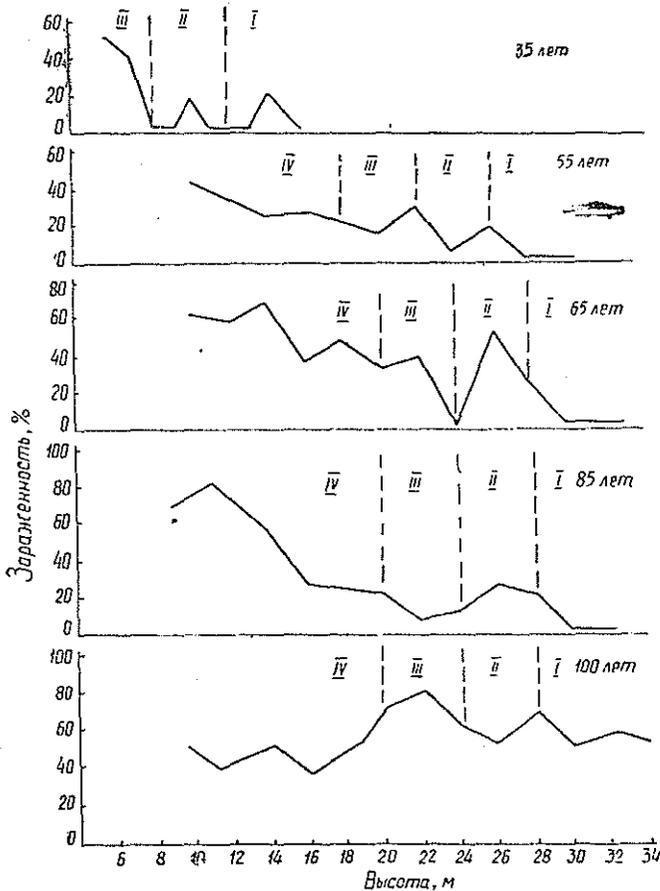


Рис 1.

личину поражения деревьев по ступеням высоты в I—IV ярусах насаждений.

В возрасте 35—55 лет основной объем зараженных деревьев приходится на нижний ярус, хотя к 55 годам в III и II ярусах поражается значительная часть деревьев. Общий уровень поражения в каждом ярусе насаждений 65 лет значительно выше. Кроме того, увеличивается неравномерность поражения по ступеням высоты в ярусах. Объясняется это тем, что в этом возрасте происходит интенсивный отпад пораженных деревьев во всех ярусах насаждений. Особенно интенсивно вываливаются пораженные гнилями деревья верхних ярусов, которые принимают на себя основной напор частых здесь сильных западных ветров. К возрасту 85 лет в насаждениях почти не остается деревьев I—III ярусов, пораженных стволовыми гнилями и гнилями, заходящими высоко в ствол. Основную часть общего поражения составляют деревья с корневыми и комлевыми гнилями. Естественно, что общий уровень зараженности (фауности) в этом возрасте уменьшается, хотя пораженность нижних ярусов остается значительной.

К возрасту 100 лет общая зараженность возрастает во всех ярусах, особенно в I—III. В насаждениях кисличникового типа леса к этому возрасту в условиях Валдайской возвышенности уже заметны процессы распада основного полога.

В табл. 2 представлены объемы старого сухостоя и валежника (в переводе на 1 га) в насаждениях различных возрастных групп. Из таблицы видно, что наибольшее количество старого сухостоя и валежника приходится на возраст 65 лет. В этом возрасте наиболее интенсивно проходит процесс усыхания пораженных гнилями деревьев. Развившаяся к 55 годам консорция гриб — растение-хозяин в 65 лет ослабевает, так как значительная часть деревьев разных ярусов, особенно нижних, начинает вываливаться. Насаждение как бы очищается от наиболее пораженной части.

Таблица 2

Возрастные группы, лет	Запас насаждений, м <sup>3</sup> /га	Объем, м <sup>3</sup> /га		
		старого сухостоя	валежника	итого
35	140	16,8	24,8	41,6
55	300	52,7	46,0	98,7
65	310	76,8	38,2	115,0
85	370	40,2	48,4	88,6
100	430	69,9	80,2	150,1

Такое же поражение мы отмечали в пихтово-еловых лесах Красноярского края и Бурятской АССР [1]. К возрасту спелости, т. е. к 80—85 годам, связь снова возрастает, а объем сухостоя и валежника последних лет уменьшается.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы.

1. В естественных еловых древостоях высшей производительности, в возрасте 50—60 лет, консортивные связи между грибами-паразитами и деревьями, составляющими насаждение, наиболее развиты.

2. Исходя из этого, наиболее целесообразно основной объем рубок ухода за лесом проводить к возрасту 50—55 лет, выбирая низшие ярусы (III и IV). Поставленным задачам, на наш взгляд, наиболее полно отвечает комбинированный метод, более приближенный к низовому. При этом методе вырубается нижняя часть древостоя — IV и III ярусы и деревья с внешними признаками поражения из I и II яру-

сов. По данным наших пробных площадей, в этом случае будет выбираться около 20% общего запаса древостоя.

3. Рубки ухода в насаждениях старше 60 лет дадут значительно меньший эффект, так как грибная инфекция в этом возрасте более равномерно распределена в вертикальной структуре биоценоза.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Стороженко В. Г. Об усыхании пихтовых насаждений в Красноярском крае и Бурятской АССР. — В сб.: Вопросы защиты леса. Вып. 38. М., МЛТИ, 1971.  
[2]. Стороженко В. Г. О влиянии рельефа местности на величину зараженности ельников дереворазрушающими грибами. — В сб.: Вопросы защиты леса. Вып. 65. М., МЛТИ, 1974.

Поступила 1 ноября 1976 г.

УДК 634.0.11

## ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Б. И. ИВАНЕНКО

Киев

Выделены пять лесорастительных районов и восемь подрайонов области. Каждый район характеризуется определенными климатическими условиями, геоморфологическим строением поверхности, почвенным покровом и наличием соответствующих условий местопроизрастания комплексов типов леса (биогеоценозов).

Лесорастительное районирование республик, краев и областей, помимо научного, имеет важное практическое значение, так как дает основания для планирования и специализации лесохозяйственных мероприятий, направленных на повышение продуктивности лесов. Так, при составлении генеральных планов развития лесного хозяйства, наряду с лесозоономическим, проводится и лесорастительное районирование.

Важность лесорастительного районирования для лесного хозяйства отмечали многие ученые ([3, 6, 10, 11, 14, 17] и др.). Большое значение для развития работ по лесорастительному районированию будет иметь I Всесоюзное совещание по проблеме районирования лесного фонда СССР, созываемое научным советом АН СССР по проблемам леса в феврале 1977 года в г. Красноярске.

Лесорастительное районирование имеет своей задачей разделить территорию области на районы, отличающиеся друг от друга комплексом природных условий, влияющих на произрастание древесной растительности. Таким образом, каждый лесорастительный район характеризуется определенными климатическими условиями, геоморфологическим строением поверхности, почвенным покровом и наличием комплексов типов леса (биогеоценозов), соответствующих этим условиям местопроизрастания.

В данной статье вопросы лесорастительного районирования рассмотрены применительно к Калужской области. Работа основана на принципах и методике, изложенных нами ранее [7—9].

Основным в лесорастительном районировании мы считаем принцип комплексности. Согласно этому принципу, при выделении лесорастительных районов и более крупных единиц принимается во внимание

вся совокупность компонентов природы, взаимосвязанных и взаимообусловленных (климат, геологическое строение, рельеф, почва, гидрологические условия и растительность).

Физико-географическое районирование, являясь комплексным, природным и ландшафтным, содержит все сведения об основных компонентах природной среды в их взаимной связи. Поэтому оно служит научной основой для разработки лесорастительного и других видов прикладного районирования.

По поводу предложенной нами методики Ф. Н. Мильков [12, 13] пишет, что поскольку лес — один из элементов ландшафта, и лесорастительное районирование может производиться только на широкой ландшафтной основе.

Выделение лесорастительных районов Калужской области основано на применении двух методов: наложения, т. е. сопоставления карт физико-географического, геоморфологического, климатического, почвенного, геоботанического районирований, и учета ведущих факторов. Предлагаемое лесорастительное районирование не замкнуто в границах Калужской области, а увязано с общим физико-географическим и геоботаническим районированием европейской части СССР. При этом была принята следующая система лесорастительных таксонов: зона, подзона, провинция, район и подрайон.

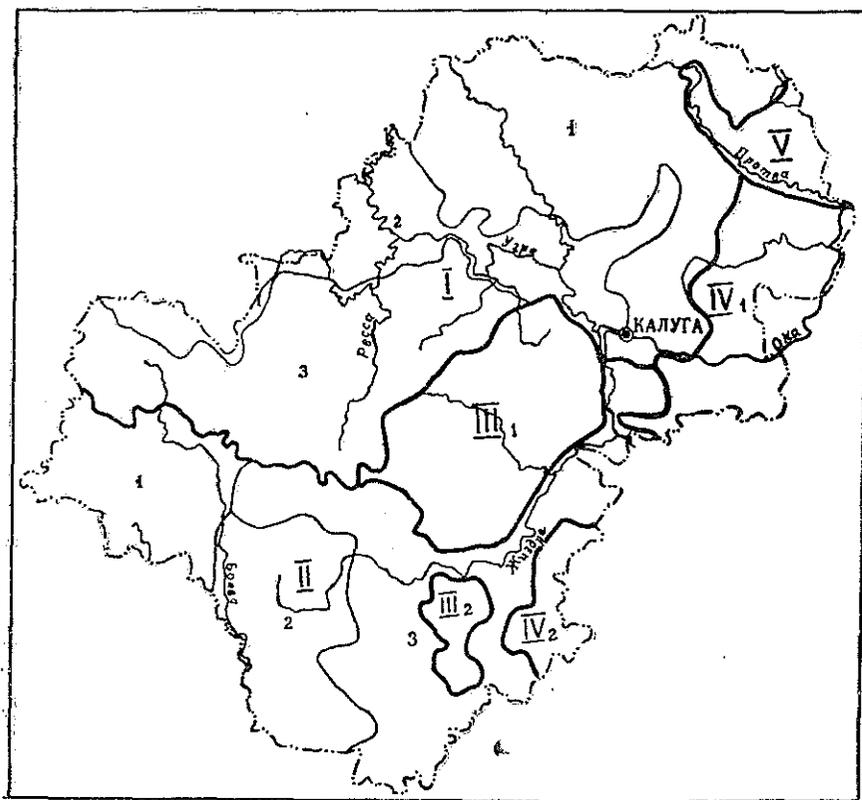


Рис. 1.

Лесорастительный район — это обособленная в природном отношении часть лесорастительной провинции с однородными комплексами типов леса (биогеоценозов).

В результате изучения природных условий Калужской области, на основе физико-географического районирования [4, 5] и сопоставления его с почвенным [1], агроклиматическим [16] и геоботаническим [15] районированием нами было установлено следующее лесорастительное районирование (рис. 1).

#### I. Район елово-широколиственных лесов Смоленско-Московской возвышенности

1. Подрайон возвышенной полого-холмистой и волнистой равнины с дерново-подзолистыми почвами на покровных суглинках и морене.

2. Подрайон аллювиально-зандровой равнины р. Угры с преобладанием дерново-подзолистых почвенных и супесчаных почв.

3. Подрайон холмистой и крупно-холмистой моренной равнины с обширными болотами.

#### II. Район сосново-широколиственных лесов на песчаных и супесчаных почвах в бассейнах рр. Болвы и Жиздры

1. Подрайон Деснинско-Болвинской аллювиально-зандровой пониженной равнины с моренными всхолмлениями и грядами.

2. Подрайон междуречья Болвы и Жиздры маломощных зандровых равнин на приподнятом цоколе коренных пород мелового периода.

3. Подрайон Жиздринско-Вытебetsкой аллювиально-зандровой равнины.

#### III. Район дубовых лесов (в прошлом) Мещовского ополя

К этому району относится и подрайон III<sub>2</sub> ополя.

#### IV. Район широколиственных лесов северной части Среднерусской возвышенности

1. Подрайон Тарусской эрозионной равнины с покровными суглинками, в приречных полосах с близким залеганием известняков.

2. Подрайон левобережья р. Оки, выше устья р. Упы на западном склоне Среднерусской возвышенности.

#### V. Район сосновых лесов на песчаной равнине, занимающей полосу пологих террасированных левобережных склонов долины рр. Оки и Протвы

I, II и V лесорастительные районы входят в подзону хвойно-широколиственных лесов, а III и IV — в подзону широколиственных лесов.

В геоморфологическом отношении лесорастительные районы различаются следующим образом:

I — возвышенная равнина с холмистым и пологохолмистым моренным рельефом московского оледенения;

II — зандровые, моренно-зандровые и аллювиально-зандровые равнины с участием эоловых форм рельефа;

III — возвышенная густорасчлененная эрозионная равнина с остатками моренно-холмистого рельефа;

IV — средне- и сильнорасчлененные эрозионные равнины с близким залеганием известняков в приречных полосах;

V — аллювиально-зандровая равнина с песками значительной мощности и эоловыми формами рельефа.

Сопоставляя лесорастительное районирование с физико-географическим [4, 5], можно установить, что I лесорастительный район входит в Смоленско-Московскую провинцию, II и III — в Дюпровско-Деснинскую, IV — в Среднерусскую провинцию широколиственных лесов и V — в Мещерскую подпровинцию смешанных лесов. Так как между физико-географическими провинциями разница в природных условиях более значительна, чем между районами, то факт расположения четырех районов из пяти в разных провинциях ясно свидетельствует о том, что установленные лесорастительные районы в природном отношении различаются весьма существенно.

На основе почвенного районирования Калужской области Д. Г. Виленского [2] и О. А. Вадковский [1] в каждом из пяти лесорастительных районов выделены следующие типы почв:

I — дерново-средне- и сильноподзолистые пылевато-суглинистые почвы на покровных суглинках, в местах развития холмисто-моренного рельефа — на морене;

II — дерново-слабо- и среднеподзолистые песчаные и супесчаные почвы, формирующиеся на флювиогляциальных песках, подстилаемых мореной, опокой или трепелом;

III — переходные почвы от дерново-подзолистых к светло-серым лесным и светло-серые лесные на покровных суглинках, нередко лёссовидных;

IV — дерново-слабо- и среднеподзолистые, светло-серые и серые лесные почвы на покровных и лёссовидных суглинках;

V — дерново-слабоподзолистые песчаные и супесчаные почвы на древнеаллювиальных песках и супесях.

Сопоставление почвенного покрова пяти лесорастительных районов показывает, что по преобладающим типам почв они существенно различаются.

По климатическим условиям I и V районы, а также Тарусский подрайон IV района относятся к I агроклиматическому району, в котором сумма температур за период выше 10°C равна 2000—2100°, сумма осадков за период вегетации — 350—380 мм и гидротермический коэффициент — 1,5—1,6.

II лесорастительный район полностью входит во IIa агроклиматический подрайон, в котором сумма температур — 2100—2200°, сумма осадков — 340—350 мм и гидротермический коэффициент — 1,4—1,5.

III район и Окский подрайон IV района входят большей частью во IIб агроклиматический подрайон, в котором сумма температур та же, сумма осадков — 300—320 мм и коэффициент — 1,3—1,4, т. е. меньше, чем в I и II районах.

Таким образом, три лесорастительных района различны по климатическим условиям и два — сходны.

Сопоставляя геоботаническое районирование Калужской области [15] с лесорастительным, можно установить между ними следующие соотношения (табл. 1).

Эти данные показывают, что все пять лесорастительных районов отличаются друг от друга по своему геоботаническому содержанию, так как относятся к различным геоботаническим провинциям и округам.

Таблица 1

Геоботаническое районирование Калужской области М. С. Хомутовой			Лесорастительный район
Подзона	Провинция	Округ	
Хвойно-широколиственных лесов	Смоленско-Московская елово-широколиственная	Протвинско-Угринский округ елово-дубовых лесов	I район, 1-й подрайон
		Угринско-Болвинский округ елово-дубовых лесов и низинных или переходных болот	I район, 3-й подрайон
Широколиственных лесов	Днепровско-Деснинская сосново-елово-широколиственная	Жиздринско-Ресетинский округ сосново-елово-дубовых лесов	II район
		Окско-Вытебetsкий округ дубняков лещиново-зеленчуковых или лещиново-черемшовых	IV район
		Окско-Протвинский округ дубняков лещиново-снытьево-осоковых и липняков	IV район 1-й подрайон
		Мещовско-Ульяновский округ дубняков снытьево-осоковых	III район
Экстразональная растительность		Округ с господством сосновых лесов в речных долинах рек Окского бассейна	V район

Изложенное позволяет сделать вывод, что районирование Калужской области по пяти лесорастительным районам и восьми подрайонам достаточно обосновано и может быть использовано для планирования состава древостоев в каждом лесорастительном районе в целях повышения продуктивности лесов. Оно необходимо также для разработки типов лесных культур и специализации лесного хозяйства, а также при лесоустройстве.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вадковская О. А. Почвенный покров. — Агроклиматический справочник по Калужской области. Л., 1958. [2]. Виленский Д. Г. Почвенное районирование центральных областей нечерноземной полосы. — В сб.: Почвенное районирование СССР, вып. II. М., Изд-во МГУ, 1963. [3]. Высоцкий Г. Н. О лесорастительных условиях Самарского уездного округа. СПб, 1908. [4]. Гвоздецкий Н. А., Жучкова В. К. Физико-географическое районирование нечерноземного центра. Изд-во МГУ, 1963. [5]. Гвоздецкий Н. А., Жучкова В. К. Карта физико-географического районирования СССР. М., Изд. МГУ, 1966. [6]. Жук А. Б. Специализация лесохозяйственных мероприятий в отдельных лесохозяйственных районах. — В сб.: Проблемы повышения продуктивности лесов, т. 1. М.—Л., 1959. [7]. Иваненко Б. И. Методика лесорастительного районирования. Изд. ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства. М., 1960. [8]. Иваненко Б. И. Лесорастительное районирование Московской области. — Сборник работ по лесному хозяйству ВНИИЛМ, М., 1962. [9]. Иваненко Б. И. О принципах лесорастительного районирования на примере Московской области. — В сб.: Природное и сельскохозяйственное районирование СССР, изд. МГУ, 1969. [10]. Колесников Б. П. О комплексном районировании лесных территорий. — В сб.: Вопросы лесоведения. Красноярск, 1973. [11]. Мелехов И. С. Проблемы современного лесоводства. М., 1969. [12]. Мильков Ф. Н. Физико-географический район и его содержание. М., Географгиз, 1956. [13]. Мильков Ф. Н. Ландшафтная география и вопросы практики. М., «Мысль», 1966. [14]. Морозов Г. Ф. Лес как явление географическое. — В сб.: Материалы по изучению русского леса,

вып. 1. Спб., 1914. [15]. Хомутова М. С. Геоботаническое районирование Калужской области. — Материалы межвузовской конференции по геоботаническому районированию СССР, изд. МГУ, 1967. [16]. Шехтман П. Б. Агроклиматическое районирование Калужской области. — Агроклиматический справочник по Калужской области. Л., 1958. [17]. Юркевич И. Д., Гельтман В. С. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии, Минск, 1965.

Поступила 25 октября 1976 г.

УДК 591.531.213 : 595.793.3

## К ПОИСКОВОЙ СПОСОБНОСТИ ЭКТОПАРАЗИТА ОЛЬХОВОГО РОГОХВОСТА

*Rhysella approximator* F

В. Н. ТРОФИМОВ

Московский лесотехнический институт

В естественных условиях изучены элементы поискового поведения самцов и самок паразита. Показано, что приблизительно 90% попыток паразитирования, кажущихся удачными, на самом деле являются холостыми.

Паразит *Rhysella approximator* F. входит в основной комплекс энтомофагов ольхового рогахвоста, занимая в нем первое место. Несмотря на многочисленные описания имаго различными авторами [3], биология и поведение паразита остаются совершенно не изученными, хотя они представляют большой теоретический и практический интерес с точки зрения интродукции и акклиматизации паразитов стволовых вредителей вообще и рогахвостов в особенности.

В настоящей работе рассматриваются вопросы, связанные с оценкой эффективности данного паразита. Исследования выполнены в черноольшаниках Хоперского заповедника Воронежской области в действующем очаге стволовых вредителей.

Лёт паразита начинается в конце апреля — первых числах мая, самцы появляются на неделю раньше самок. Первые особи были пойманы во второй половине апреля 1972 г. (самцы), последние — в конце сентября (самки). Самцы более многочисленны в мае, в остальной период лета преобладают самки.

Вышедшие самцы собираются группами по несколько особей (до 8 шт.) обычно на поверхности тех же деревьев, из которых они вылетели. Работами Хитвоула с сотрудниками [5] на примере паразитов рода *Megarhysa* установлено, что самцы образуют скопления в местах ожидаемого выхода самок, привлекаемые звуками, которые издает самка при выгрызании вылетного отверстия. Наши наблюдения показали полную аналогию поведения самцов в подобных скоплениях. Вышедшую самку сразу же окружают самцы. Они дерутся между собой даже в момент спаривания, пытаясь сбросить противника. Крупная самка спаривается несколько раз подряд с несколькими самцами, копуляция с одним самцом продолжается 10—15 мин.

Поиск хозяина и откладывание яиц самка паразита начинает непосредственно после спаривания. Активный поиск и паразитирование происходят в теплую ясную погоду; в дождь паразиты прячутся под обратной стороной листьев подроста и трав. Самки начинают летать с 9—10 ч. утра после прогрева воздуха до температуры около 20°C. Первая стадия поиска — нахождение ствола с личинками рогахвостов

старших возрастов и облет его сверху вниз и снизу вверх по спирали; при этом голова самки направлена к дереву.

Нами отмечено смещение по стволу сверху вниз района активного поиска самок в течение дня и в течение лета. Первое связано с нагревом ствола за день, поскольку нами установлено явное предпочтение самками паразита таких участков ствола, температура которых на 3—5° выше температуры окружающего воздуха. Второе зависит от ряда причин. С одной стороны, развитие личинок хозяина в верхних частях ствола происходит несколько дружнее, а многочисленные трещины и отслаивание коры облегчают паразитам путь к личинкам хозяина; с другой стороны, постоянное возрастание дневной температуры воздуха вызывает перегрев верхней части ствола и нагрев нижней до нужной температуры. Вероятно, наличие таких миграций паразитов привело В. Н. Старка [1] к ошибочному заключению о том, что район поиска паразитов определяется погодными условиями, а не размещением личинок хозяина в заселенном дереве.

Поисковое поведение самок на дереве состоит из трех главных элементов [9]. Во-первых, так называемое осматривание — предварительное исследование, при котором самка ползает по стволу, ударяя кончиками усиков по его поверхности и двигая при этом головой из стороны в сторону. При этом за один проход она исследует полосу шириной 2—3 мм. В некоторых местах самка останавливается и более подробно исследует усиками места, где собирается произвести сверление, постоянно при этом поворачиваясь и топчась на одном месте. Второй элемент обследования заключается в мелких, глубиной менее 3 мм, пробных сверлениях яйцекладом поверхности ствола; третий элемент — более глубокое погружение яйцеклада. Продолжительность сверления самкой *Rh. approximator* F. до полного погружения яйцеклада в древесину составляет 8—10 мин, а на извлечение его самка затрачивает 3—6 мин, после чего она чистит яйцеклад, протаскивая его между коготками лапок задних ног. По исследованиям Хитвоула и др. [5], самки наездников рисс откладывают яйца только на личинках хозяина, расположенных в древесине на определенной глубине, которой паразиты достигают концом полностью погруженного яйцеклада. Любые другие сверления холостые и были названы Кристалом [4] «ошибками инстинкта». Спредбери [9] рядом остроумных экспериментов с наездником *Rhyssa persuasoria* L. — эктопаразитом ряда рогахвостов — установил, что паразиты ориентируются на свежую буровую муку в ходах личинок, а также на запах грибов-симбионтов. Вторичного заражения ранее паразитированных личинок хозяина не происходит, хотя паразиты с одинаковым успехом откладывают яички как на живых, так и на мертвых личинках.

Все исследователи, так или иначе рассматривавшие вопрос о точности попадания яйцеклада паразита в личинку хозяина, отмечают большее число промахов. Кристал [4] для *Rh. persuasoria* L. описывает около 90% неудачных сверлений, хотя из его описания трудно понять, имеет ли он в виду полное погружение яйцеклада или только частичное. Хитвоул и Дэвис [6] не наблюдали промахов при полностью погруженном яйцекладе у наездников рода *Megarhyssa*. Морган и Стюарт [7] показали, что *Rh. persuasoria* L. часто ошибается при отыскании личинки хозяина: на 5—10 погружений яйцеклада приходится только одна зараженная личинка рогахвоста. Стилвелл [10] приводит два примера для *Megarhyssa greeni* Viereck, когда полностью погруженные яйцеклады были далеки от личинок рогахвостов-хозяев.

В чрезвычайно тщательном исследовании Спредбери [9] холостыми оказались 89% сверлений паразита *Rhyssa persuasoria* L. Однако следует учесть, что данные двух последних авторов получены в лабораторных условиях в садках и, вероятно, по этой причине в работе Спредбери не упоминается начальная стадия поиска — облет дерева паразитом.

Нами была проанализирована точность (процент попадания) сверлений *Rhyssella approximator* F. при полностью погруженном яйцекладе. Наблюдения были проведены 2—5 июня 1973 г. в ольшанике 70—90 лет за стоящими и лежащими деревьями, содержащими личинки ольхового рогохвоста, на которых паразитировали самки риселы. Для увеличения доступного для наблюдения материала были свалены 24 дерева диаметром около 28 см, 18 из них были распилены на 2—3-метровые отрубки и установлены горизонтально.

Яйцеклад самки паразита отрезали в момент его максимального погружения в дерево, когда самки, окончив сверление, замирали на несколько секунд. Место с отрезанным яйцекладом помечали для последующего анализа. Одновременно записывали время дня, место сверления, расположение и диаметр бревна.

Впоследствии участки дерева с отрезанными яйцекладами были осторожно выпилены и вскрыты. Выпиливаемый кусок дерева представлял собой толстый сектор размером не менее  $2 \times 2$  дм<sup>2</sup>, на котором подсчитывали число личинок рогохвостов, доступных для паразитирования, учитывая при этом уже паразитированных. Удачным считали такое сверление, при котором яйцеклад паразита был либо непосредственно введен в личинку, либо личинка была проколота яйцекладом, с отложением на нее яйца или без него, либо оставшаяся непогруженной часть яйцеклада позволяла при полном его введении достигнуть тела личинки хозяина. Всего проанализировано 76 введенных яйцекладов; полученные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Время суток, ч.	Число сверлений		Процент удачных сверлений
	общее	удачных	
10—12	4	0	0
12—14	12	1	8,3
14—16	14	2	14,3
16—18	27	4	14,8
18—20	19	2	10,5
Итого	76	9	11,8

Из таблицы видно, что активность самок паразита увеличивается с 14 ч., достигая максимума в 16—18 ч. Наибольшее число удачных сверлений приходится на период максимальной активности самок паразита. Увеличение активности самок, равно как и увеличение числа удачных сверлений, возрастает по мере прогрева воздуха и нагрева стволов. Самки наиболее активны в период, когда температура ствола выше температуры воздуха, и разница максимальна.

Ричерсон и Борден [8], изучая механизмы обнаружения хозяина браконидом *Coeloides brunneri* Viereck паразитом короедов рода *Dendroctonus*, отвергли существовавшее ранее мнение об ориентации паразитов на звук, вибрацию и запах хозяина. Результаты экспериментов дали им право утверждать, что решающую роль в поиске хозяина играет инфракрасное излучение. Поскольку основой механизма инфракрасного излучения может служить различная теплоемкость участков древесины с ходами рогохвостов, жуколичными колыбельками и древесины без повреждений, то прогрев заселенного ствола выше окружающего воздуха в границах предпочитаемых температур должен с увеличением инфракрасного излучения увеличить активность поиска паразитов, число сверлений и т. д. Это нами и получено (табл. 1) и свидетельствует в пользу данной гипотезы. Следует отметить, что гипотеза о влиянии инфракрасного излучения несколько не противоречит ранее

описанным выводам Спредбери [9], а окончательно доказанная только дополнит их.

Рядом последних и пока немногочисленных исследований, выполненных с различного вида короедами, установлено, что вероятность гибели хозяина от всех видов энтомофагов возрастает с увеличением плотности его поселения. Нами получены сходные результаты для ольхового рогахвоста и комплекса его паразитов (табл. 2). Однако для наездника *Rhyssa approximator* F. связь попыток паразитирования (общего числа сверлений) с плотностью поселения хозяина выражена слабо, что скорее всего связано с очень высокой плотностью поселения рогахвостов. В. К. Строгановой [2] удалось найти в березовых и смешанных лесах Новосибирской области очаг ольхового рогахвоста, где на 1 дм<sup>2</sup> поверхности ствола приходилось по 3—4 лётных отверстия. В нашем очаге плотность поселения порядка 15 лётных отверстий встречалась довольно часто, а максимальная достигала 29. Число же удачных сверлений зависит не столько от плотности хозяина, сколько от общего числа сверлений самок паразита (табл. 2).

Таблица 2

Плотность поселения хозяина (число личинок старшего возраста на 1 дм <sup>2</sup> )	Процент личинок, зараженных комплексом паразитов	Число сверлений	
		общее	удачных
2—7	12,7	8	1
8—10	13,2	20	1
11—13	17,6	16	3
14—16	28,1	18	2
17 и более	30,4	14	2
Итого	27,4	76	9

Поисковое поведение самок паразита-рисселы неравнозначно на различных участках ствола (табл. 3).

Таблица 3

Часть ствола	Средняя плотность поселения личинок на 1 дм <sup>2</sup>	Число сверлений		Процент удачных сверлений
		общее	удачных	
Вершина	3,68	13	2	15,4
Середина	9,61	36	4	11,1
Комель	11,34	27	3	11,1
Итого	9,21	76	9	11,8

Наибольшее число сверлений приходится на средние части ствола, несколько меньшее — на комлевые. Тем не менее процент удачных сверлений больше в верхних частях ствола. Объяснение этому явлению мы видим в том, что, с одной стороны, плотность поселения хозяина больше на средних и комлевых участках стволов, с другой стороны, лучше прогреваются и больше инфракрасных лучей излучают вершины деревьев.

Самки предпочитают вести поиск на стоящих деревьях (табл. 4). Процент удачных сверлений в этом случае пропорционален общему числу сверлений.

Таким образом, процент удачных сверлений ихневмонида *Rhyssella approximator* F. в насаждении оказался близок к результатам

Таблица 4

Расположение деревьев	Число сверлений		Процент удачных сверлений
	общее	удачных	
Стоящие	57	7	12,3
Лежащие	19	2	10,5
Итого	76	9	11,8

Спрэдбери [9], полученным в лаборатории для биологически близкого вида ихневмонида *Rh. persuasoria* L.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Старк В. Н. Значение ольховых насаждений в формировании фауны стволовых вредителей лесных посадок лесостепя. — «Труды ВИЗР», 1960, вып. 15, с.191—204. [2]. Строганова В. К. Рогахвосты Сибири. Новосибирск, «Наука», 1968, с.1—143. [3]. Aubert J. F. Les Ichneumonides ouest-palaearctiques et leurs hôtes. B. 1. Pimplinae, Xoridinae, Acaenitidae. Paris, 1968. [4]. Christal R. N. The *Sirex* woodwasps and their importance in forestry. — «Bull. Entomol. Res.», 1928, 19, 3, 219—247. [5]. Heatwole H., Davis D. M. and Wenner A. M. Detection of mates and host by parasitic insects of genus *Megarhyssa* (Hymenoptera: Ichneumonidae). — «Amer. Midland Naturalist», 1964, 71, 2, 374—381. [6]. Heatwole H. and Davis D. M. Ecology of three sympatric species of parasitic insects of the genus *Megarhyssa* (Hymenoptera: Ichneumonidae). — «Ecology», 1965, 46, 1—2, 140—150. [7]. Morgan D. and Stewart N. The effect of *Rhyssa persuasoria* L. (Ichneumonidae) on a population of *Sirex noctilio* F. (Hym.: Siricidae). — «Trans. Roy. Soc. N. Z. zool.», 1966, 8, 4, 31—38. [8]. Richerson T. V. and Borden T. N. Host finding by heat perception in *Coeleoides brunneri* (Hymenoptera: Braconidae). — «Canad. Entomol.», 1972, 104, 12, 1877—1881. [9]. Spradbery J. P. Host finding by *Rhyssa persuasoria* L. an ichneumonid parasite of siricid woodwasps. — «Anim. Behav.», 1970, 18, 1, 103—114. [10]. Stillwell M. A. The pigeon tremex, *Tremex columbia* (Hymenoptera: Siricidae) in New Brunswick. — «Canad. Entomol.», 1967, 99, 7, 685—689.

Поступила 13 мая 1976 г.

УДК 578.683

### КУЛЬТУРА in vitro ИЗОЛИРОВАННЫХ КОРНЕЙ ЛИСТВЕННИЦ СИБИРСКОЙ И ДАУРСКОЙ (*Larix sibirica* Maxim. и *L. dahurica* Turcz.)

Т. С. МОМОТ

Ленинградская лесотехническая академия

Изолированные корни лиственниц сибирской и даурской, взятые от стерильных проростков, выращивали при 23—24°C, на модифицированной среде Сланкиса с сахарозой в концентрации 4, 6 и 8%. Корни лиственницы сибирской в стерильной культуре росли более интенсивно, чем корни лиственницы даурской.

Для изучения физиологии корневых систем древесных, и в особенности хвойных, пород весьма удобна культура изолированных корней.

Ранее нами были получены культуры изолированных корней сосны обыкновенной и ели европейской [1—3]. Целью данной работы было испытание способности к росту в стерильной культуре изолированных корней лиственниц сибирской и даурской.

Семена урожая 1974 г. были собраны в Загорском лесхозе Московской области (лиственница сибирская) и в Могочинском лесхозе Читинской области (лиственница

даурская). Для получения стерильных проростков семена обрабатывали концентрированным пергидролем при периодическом встряхивании в колбе в течение 70 мин. Затем их несколько раз промывали стерильной водой.

Семена выращивали на водном 2%-ном агаре в течение 3 недель. После этого от корней стерильных проростков отрезали кончики длиной 2—3 см и помещали в колбы (емкостью 125 мл) с модифицированной нами жидкой питательной средой Сланкиса [2, 3] (по 40 мл в каждой). При культивировании корней хвойных в изолированной культуре обычно употребляют питательные среды с повышенным содержанием сахарозы [1—3, 5—7]. Нам было важно выяснить влияние различных концентраций сахарозы на рост корней лиственниц. Сахарозу мы вводили в среду в концентрациях 2, 4, 6 и 8%. Железо использовали в форме сульфата  $Fe_2(SO_4)_3$  в эквивалентных дозах, соответствующих 0,34 мг/л Fe. Корни выращивали в термостате при 23—24°C, в темноте. Опыты проведены в десятикратной или двадцатикратной повторности. Результаты учитывали в конце опыта путем подсчета числа образовавшихся боковых корешков, измерения их суммарной длины, определения сырой массы и среднесуточного прироста корней. Средние данные во всех опытах приведены в расчете на один корень (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Концентрация сахарозы, %	Общая длина боковых корней, мм	Число боковых корней	Среднесуточный прирост корней, мг
Лиственница сибирская			
2	10,5	2,0	0,22
4	33,0	2,3	0,73
6	48,0	4,0	1,06
8	34,3	3,0	0,76
Лиственница даурская			
2	8,3	1,0	0,17
4	12,0	2,3	0,26
6	21,0	2,6	0,46
8	31,0	3,3	0,70

Рост корней на средах с разным содержанием сахарозы продолжался в течение 5 мес. Через 3—4 недели после начала культивирования изолированных корней на них стали образовываться боковые корешки длиной от 3 до 5—6 мм. В дальнейшем боковые корни значительно подавляли рост главных.

Результаты 1,5-месячного опыта по выяснению влияния различных концентраций сахарозы на интенсивность роста корней показали, что корни лиственницы сибирской лучше росли на среде с 6% сахарозы; несколько слабее был рост корней на средах, содержащих 4

Таблица 2

Концентрация сахарозы, %	Общая длина боковых корней, мм	Число боковых корней	Среднесуточный прирост корней, мм	Сырая масса корней, мг
Лиственница сибирская				
2	35,2	2,1	0,23	13,3
4	86,0	4,0	0,57	32,7
6	75,2	6,2	0,50	27,2
8	76,0	4,3	0,50	24,2
Лиственница даурская				
2	30,0	2,0	0,20	8,5
4	81,3	4,6	0,54	19,0
6	60,0	3,5	0,40	16,5
8	81,5	4,5	0,54	19,6

и 8% сахарозы. Лучший рост корней лиственницы даурской был на среде с 8% сахарозы, значительно слабее — на средах с 6 и 4% сахарозы. На среде с 2% сахарозы корни обоих видов лиственниц росли плохо. Это отмечено нами и после 5-месячного выращивания корней в изолированной культуре (табл. 2). Из данных по среднесуточному приросту корней (табл. 1) и сырой массе (табл. 2) видно, что лучше развивались корни лиственницы сибирской.

Наиболее интенсивный рост корней мы наблюдали в первые 2—2,5 месяца, через 3 месяца корни начинали желтеть, а затем темнеть; рост их постепенно замедлялся. Та же закономерность отмечена нами при выращивании изолированных корней ели европейской и березы пушистой [2, 4].

Результаты проведенных исследований показывают, что изолированные корни лиственниц сибирской и даурской в стерильной культуре можно выращивать на модифицированной среде Сланкиса с содержанием сахарозы 4, 6 и 8%. Среды, содержащие 2% сахарозы, для культивирования этих корней неприемлемы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Момот Т. С. Культура изолированных корней как метод исследования в физиологии древесных растений. — Тезисы докладов III Уральского совещания по физиологии и экологии древесных растений. Уфа, 1970. [2]. Момот Т. С., Смирнов А. М., Яценко-Хмелевский А. А. Особенности роста изолированных корней ели европейской (*Picea abies* Karst.) в стерильных условиях. — «Изв. АН СССР, Сер. биол.», 1972, № 5. [3]. Момот Т. С., Смирнов А. М., Яценко-Хмелевский А. А. Стимулирующее влияние остатков гипокотилей на рост изолированных корней сосны обыкновенной и ели европейской. — «ЖОБ», 1975, т. 36, № 2. [4]. Момот Т. С., Смирнов А. М., Яценко-Хмелевский А. А. Особенности роста изолированных корней березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) в стерильных условиях. — «Изв. АН СССР. Сер. биол.», 1975, № 3. [5]. Barnes R. L., Naylor A. W. In vitro culture of pine roots and the use of *Pinus serotina* roots in preliminary metabolic studies. — «Forest Sci.», 1959, 5. [6]. Slankis V. Influence of the sugar concentration on the growth of isolated pine roots. — «Nature», 1947, 160, № 4071. [7]. Ulrich I. M. Cultural requirements for growth of excised ponderosa pine roots. — «Physiol Plant.», 1962, 15, № 1.

Поступила 19 марта 1976 г.

УДК 631.312.083.2

### УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЛУГА ПЛД-1,2 НА РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЯХ ЛЕСОКУЛЬТУРНЫХ ПЛОЩАДЕЙ

Ю. И. КОЛЕСНИКОВ, Г. И. ЛАРИН, А. Ф. ПРОНИН

Московский лесотехнический институт

Ухтинский индустриальный институт, Загорская лесная МИС

Приведены данные по изменению удельного сопротивления плуга ПЛД-1,2 в зависимости от глубины обработки почвы на лесной, не покрытой лесом площади и на нераскорчеванных вырубках с количеством пней 550—600 шт./га.

Широко поставленные исследования удельного сопротивления лесохозяйственных почвообрабатывающих орудий позволят ответить на ряд практических вопросов [6]. Например, изучение зависимости удельного сопротивления от технологических и эксплуатационных факторов поможет работникам лесного хозяйства правильно нормировать рабо-

ты по подготовке почвы на лесокультурных площадях [1], а конструкторам лесных машин—совершенствовать почвообрабатывающие орудия.

Известно, что удельное сопротивление почвообрабатывающих лесохозяйственных орудий зависит от значительного числа разнообразных факторов, в числе которых одно из ведущих мест занимает категория лесокультурной площади.

Исследования И. С. Казарцева [2], М. С. Лазарева [3], Е. И. Ларионова [4], Ю. И. Полунарнева [5] и др. позволили получить значения удельного сопротивления различных лесохозяйственных орудий, применяющихся для подготовки почвы под лесовосстановление.

Однако удельное сопротивление ряда лесохозяйственных почвообрабатывающих орудий на лесокультурных площадях изучено недостаточно. Это относится и к дисковому лесному плугу ПЛД-1,2, об удельном сопротивлении которого имеются лишь разрозненные данные в протоколах государственных машиностроительных станций Союзсельхозтехники. В связи с этим нами проведены исследования удельного сопротивления плуга ПЛД-1,2 на различных категориях лесокультурных площадей.

Участок № 1. Лесная площадь, не покрытая лесом, с отдельно стоящими деревьями. Рельеф ровный. Мощность дернового горизонта 6—8 см. Почва суглинистая, влажность — 16,4—52,5%, твердость — 3,1—23,8 кгс/см<sup>2</sup>.

Участок № 2. Нераскорчеванная свежая вырубка. Состав насаждений до рубки 5Е5Б. Количество пней — 550 шт./га, их средний диаметр — 30 см. Рельеф ровный. Почва суглинистая, влажность — 22,7—33,7%, твердость — 16,9—28,3 кгс/см<sup>2</sup>.

Участок № 3. Нераскорчеванная свежая вырубка. Состав насаждений до рубки 7ЕЗБ. Количество пней — 600 шт./га, их средний диаметр — 32 см. Рельеф ровный. Почва суглинистая, влажность — 20,6—30,6%, твердость — 14,5—29,8 кгс/см<sup>2</sup>.

Динамометрирование плуга проведено тензометрической лабораторией, смонтированной на базе трактора ЛХТ-55 (рис. 1). Длина учетных гонов составляла 20—40 м в зависимости от условий лесокультурных площадей.

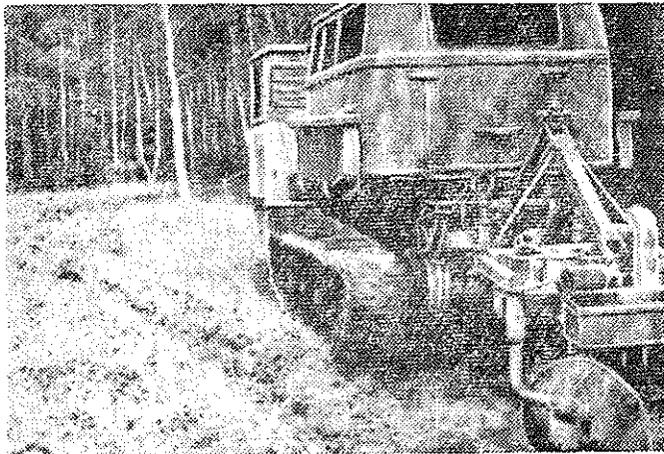


Рис. 1.

Удельное сопротивление плуга определяли по формуле

$$K = \frac{P}{ab},$$

где  $P$  — тяговое сопротивление плуга, кгс;

$a$  — глубина хода плуга, см;

$b$  — ширина захвата, см.

Значения удельного сопротивления плуга ПЛД-1,2 на различных категориях лесокультурных площадей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер участка	Удельное сопротивление плуга, кгс/см <sup>2</sup> , при глубине обработки почвы, см						Среднее удельное сопротивление, кгс/см <sup>2</sup>
	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	
1	—	2,1	1,8	1,6	1,4	1,2	1,6
2	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	—	1,4
3	2,2	2,0	1,8	1,5	1,4	1,1	1,6

Результаты экспериментов показывают, что для всех изученных категорий лесокультурных площадей наблюдается общая тенденция некоторого снижения удельного сопротивления плуга ПЛД-1,2 с увеличением глубины обработки почвы. Однако в пределах этой общей закономерности наблюдаются некоторые различия.

Так, на лесной, не покрытой лесом площади зависимость удельного сопротивления плуга от глубины обработки почвы с определенной степенью приближения может быть охарактеризована уравнением параболы второго порядка в диапазоне глубин обработки почвы 8—15 см и уравнением прямой линии — в диапазоне 15—18 см. Такой вид зависимости обусловлен тем, что на данном участке мощность дернового горизонта составляла 6—8 см. В связи с этим, при глубине обработки почвы 8 см наблюдалось значительное удельное сопротивление плуга, равное 170% от среднего удельного сопротивления.

Повышенное удельное сопротивление дискового плуга ПЛД-1,2 при обработке почвы в пределах дернового горизонта обусловлено технологическими особенностями его работы: отрезанием лент дернины и перерезанием их на куски.

На повышение удельного сопротивления плуга при малых глубинах хода может влиять также значительная неравномерность хода. С увеличением глубины обработки почвы неравномерность хода плуга, как правило, снижается, что вызывает снижение удельного сопротивления плуга.

На свежих нераскорчеванных вырубках (участки 2, 3), на которых твердость почвы в пределах пахотного горизонта более равномерна, чем на участке № 1, интенсивность снижения удельного сопротивления плуга с увеличением глубины обработки почвы меньше, чем на лесной, не покрытой лесом площади (табл. 1).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Государственный комитет лесного хозяйства Совета Министров СССР. Методические указания по определению суммарной выработки тракторов в условных единицах. М., 1973. [2]. Казарцев И. С. Исследование изнашивания лемехов лесных плугов и обоснование методов повышения их долговечности. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Воронеж, 1971. [3]. Лазарев М. С. Исследование тягового сопротивления плугов при обработке лесосек. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Воронеж, 1953. [4]. Ларионов Е. М. Исследование устойчивости глубины хода навесного плуга при обработке почвы на вырубках. М., 1970. [5]. Полупарнев Ю. И. Определение тяговых сопротивлений плугов. — «Лесное хозяйство», 1964, № 5. [6]. Пронин А. Ф., Ларин Г. И., Поддубный О. И. О необходимости изучения удельного сопротивления лесных почвообрабатывающих машин. — «Научные труды МЛТИ», 1975, вып. 66.

Поступила 2 октября 1976 г.

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 634.0.378.3:65.012.2

## ЛЕСОСПЛАВ В ДЕСЯТОЙ ПЯТИЛЕТКЕ

Ю. П. БОРИСОВЕЦ, В. М. КОНДРАТЬЕВ, В. Н. ХУДОНОВ

Сибирский технологический институт

Управление лесосплава Минлеспрома СССР

В статье отражены проблемы лесосплава, решение которых намечено в десятой пятилетке и на дальнейшую перспективу.

Десятый пятилетний план развития народного хозяйства СССР советские люди выполняют под лозунгом повышения качества и эффективности.

Оба эти очень емкие определения включают в себя ряд конкретных показателей, о которых Генеральный секретарь ЦК КПСС тов. Л. И. Брежнев на октябрьском (1976 г.) Пленуме ЦК КПСС сказал: «Борьба за эффективность и качество означает, что каждый советский человек, каждый трудовой коллектив должен добиваться наивысшей производительности труда, строго соблюдать производственную дисциплину и режим экономии, изо дня в день улучшать качество своей работы, качество выпускаемой продукции».

В отрасли лесосплава, на которую возложена задача доставлять древесину потребителям с наименьшими затратами труда и наиболее совершенными способами, в десятом пятилетии должен быть осуществлен комплекс мероприятий, обеспечивающих резкое повышение показателей качества и эффективности лесосплава как лесотранспортного процесса.

Внедрение систем машин и оборудования для лесосплавных и лесоперевалочных работ, оснащение лесосплавающих предприятий специализированным флотом, сосредоточение вывозки древесины на крупных приречных складах вызовут дальнейшие изменения в структуре лесосплава, повысят его технический уровень.

Генеральным направлением, принятым Минлеспромом СССР на десятое пятилетие и на далекую перспективу, является сокращение молевого сплава по первоначальной речной сети там, где это экономически выгодно, и увеличение сплава леса в плотках береговой сплотки и перевозок леса в судах.

Общий объем лесосплавных работ за десятое пятилетие остается на прежнем уровне (100—104 млн. м<sup>3</sup> в год). Доля пуска леса для молевого сплава уменьшится с 64,5 до 53%, а по прибытии — с 21,7 до 20,4%. Предусматривается сокращение объема молевого сплава на 12,35 млн. м<sup>3</sup>. Переход с молевого сплава на плотовой будет способствовать сокращению потерь леса при сплаве, позволит улучшить показатели качества, ускорит доставку древесины потребителям, поднимет производительность труда, так как резко уменьшатся объемы работ на лесных рейдах.

Кроме того, появляется возможность организовать углубленную переработку древесины, благодаря использованию отходов производства, сосредоточенных в одном пункте.

Вместе с тем роль молевого сплава древесины как средства поставок ее народному хозяйству в десятой пятилетке сохранится, поэтому необходимо улучшить организацию его проведения, повсеместно применяя рекомендованный наукой и проверенный на практике прогрессивный дистанционно-патрульный способ. Следует обеспечить прием леса, поступающего на повышенных горизонтах, провести на каждой реке мелиоративные работы и строго соблюдать установленную проектами технологическую дисциплину.

Другое мероприятие, которому Минлеспром СССР уделяет также большое внимание, — широкое внедрение береговой сплотки леса, в первую очередь лиственной и мелкотоварной хвойной древесины. Это окажет положительное влияние на показатели качества и эффективности работ. Опыт внедрения береговой сплотки показал, что сокращаются в 2—3 раза трудозатраты и стоимость по всему комплексу работ, выполняемых в начале проведения молевого сплава, а затем на рейдовых работах, в связи с переходом на плотовой сплав.

В десятой пятилетке предусматривается рост объемов плотового сплава за счет увеличения объема береговой сплотки по пуску до 35,0 млн. м<sup>3</sup> в год вместо 27,4 млн. м<sup>3</sup> в 1975 г. По прибытии в плоты объем поставки леса возрастет на 4,1 млн. м<sup>3</sup> и достигнет в 1980 г. 61,0 млн. м<sup>3</sup> вместо 56,9 млн. м<sup>3</sup> в 1975 г. Предусматривается переход на прогрессивные конструкции плотов без оплотника, что повысит производительность труда на формировочных работах и снизит расход формировочного такелажа.

Нарращивание темпов береговой сплотки будет обеспечено увеличением сплотки леса в хлыстах. Ожидается, что объем сплотки в хлыстах к 1980 г. достигнет 12,0 млн. м<sup>3</sup> вместо 4,5 млн. м<sup>3</sup> в 1975, т. е. намечается рост в 2,7 раза. Наиболее интенсивно сплотка леса в хлыстах возрастает в Красноярском крае, Иркутской, Кировской, Томской областях. В Коми АССР, Пермской, Горьковской и Костромской областях будет практиковаться поставка потребителям древесины в хлыстах, сплоченных на берегу.

Поставка леса в хлыстах полностью отвечает известному постановлению ЦК КПСС «О работе Министерства лесной и деревообрабатывающей промышленности СССР по повышению эффективности использования древесины в свете требований XXV съезда КПСС» (1976 г.), в котором говорится: «Дальнейшее улучшение использования лесных ресурсов, увеличение выработки лесопродукции из каждого кубического метра заготовленной древесины считать важнейшей задачей Министерства».

Увеличение поставки леса в хлыстах в районы потребления древесины позволит сосредоточить ее разделку в крупных пунктах приплава, где можно рационально использовать всю низкосортную древесину и отходы. Для этой цели потребуются создать специальные или реконструировать действующие лесоперевалочные и лесопильно-деревообрабатывающие предприятия, которые будут выгружать хлысты целыми пакетами, разделывать их с полным использованием всех отходов, как это уже практикуется на Байкальской лесоперевалочной базе, Ключевском ЛПХ, Хандагатайском нижнем складе, Бурятском МДК и других производственных подразделениях объединения Забайкаллес. Эти предприятия добились полного использования древесной массы. Здесь, выработывая из хлыстов нужные сортаменты, перерабатывая отходы на щепу и другую ценную продукцию, утилизируют даже кору лиственных, отправляя ее на специальную химическую переработку.

Вместе с изменением способов сплава леса в этой пятилетке предполагается коренным образом улучшить службу пути на сплавных реках, создав специализированные производственные подразделения — мелиоративно-строительные сплавные участки (МССУ), которые должны будут проводить работы по поддержанию рек и акваторий рейдов в хорошем эксплуатационном состоянии. МССУ будут выполнять землечерпательные, русловыправительные работы, работы по подъему топляка и др. За пятилетие процент хорошо устроенных рек (группа В) возрастет с 13,5 до 40% по протяженности, а среднеустроенные реки (группа Б) составят остальные 60%. Рек, относящихся к группе А (неустроенные реки), вообще не будет. На сплавных путях, протяженность которых сократится примерно в два раза, создаются 34 МССУ, на что отпущено 12 млн. р. Сплавщики прекрасно знают, как эффективен перевод рек в более высокую группу устроенности, — трудозатраты на проведение сплава сокращаются в 2—4 раза.

Для оснащения МССУ предусмотрен выпуск специальных тракторных агрегатов ЛС-35 и ЛС-36, а также усовершенствованных земснарядов ЗРС-Г, шагающих земснарядов В-37 и других механизмов.

Как упоминалось ранее, в этой пятилетке будет осуществляться концентрация работ на приречных складах (нижних складах лесовозных дорог). Это позволит оснастить предприятия более совершенными поточными линиями ЦЛР-160, сплотно-транспортными агрегатами для береговой сплотки на колесной базе типа В-49, В-51 и В-53, ЦЛР-117.

За десятую пятилетку существенно обновится и лесосплавной флот, для которого в настоящее время характерна большая разнотипность, изношенность и маломощность. Переход на формирование плотов повышенных габаритов, значительное увеличение работ с плотами береговой сплотки в ранневесенние периоды при больших скоростях течения требуют существенного повышения мощности судов. В данное время средняя мощность лесосплавного судна едва превышает 100 л. с., а к концу пятилетки достигнет 160 л. с. В результате сократится сплочный состав судов и, следовательно, уменьшится состав команд и снизится стоимость содержания флота и его доля в себестоимости лесосплавных работ. С навигации 1977 г. комсоставу лесосплавных судов вводится форменная одежда.

Для резкого повышения эффективности лесосплава в десятой пятилетке потребуется его комплексная механизация на основе наиболее совершенных механизмов и машин. Предусмотрено за пятилетие поднять комплексную производительность труда на лесосплавных работах с 1275 до 1540 м<sup>3</sup>, а на лесоперевалочных работах с 1040 до 1250 м<sup>3</sup> на одного работающего в год, т. е. примерно на 24%.

В выполнении трудных и ответственных задач, стоящих перед лесосплавом в десятой пятилетке и в перспективе, большую роль должна сыграть наука. Ученые специализированных кафедр водного транспорта леса вузов, работники отраслевых научно-исследовательских и проектных институтов должны внести весомый вклад в теорию и практику лесосплава.

Своего решения ждет важная для практики проблема динамического взаимодействия лесосплавных объектов с внешней средой, проблема закономерностей, связанных с механизацией лесосплавных процессов, теория процессов лесосплава, научные основы рациональной компоновки лесосплавных предприятий и др.

В последние годы появились новые, прогрессивные формы сотрудничества производителей и ученых — договоры о социалистическом содружестве, которое будет способствовать решению научно-технических проблем, обеспечивающих прогресс производства, вопросов научно-технической пропаганды, комплектования кадров предприятия, усиления материальной базы научного подразделения, учебных, производственных и идейно-воспитательных задач. Опыт работы кафедры водного транспорта леса Сибирского технологического института, которая имеет договоры о содружестве с производственными объединениями Енисейлесосплав, Забайкаллес, Хабаровсклес, показывает плодотворность и результативность такого сотрудничества. При этом практикуется составление годовых планов-обязательств, детализирующих договоры о социалистическом содружестве.

Советский народ развернул титаническую борьбу за выполнение решений XXV съезда КПСС. Нет сомнений в том, что широко развернувшееся социалистическое соревнование передовых бригад, производственных лесосплавных участков, сплавных контор, соревнование между работниками лесосплава и пароходств будет способствовать повышению эффективности лесосплава в десятой пятилетке.

Поступила 27 декабря 1976 г.

УДК 634.078

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПАКЕТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЬЕВ НА РУБКАХ УХОДА ЗА ЛЕСОМ

*А. В. ДАНИЛИН, В. Г. КОЧЕГАРОВ*

Ленинградская лесотехническая академия, ЛенНИИЛХ

Приведены результаты исследований процесса пакетирования деревьев на рубках ухода за лесом с учетом максимальной сохранности оставляемого древостоя и уменьшения площади, занимаемой волоками и визирами. Приведены основные параметры подтаскивания деревьев к волокам.

С уменьшением объема заготавливаемых деревьев и интенсивности рубок ухода эффективность применения трелевочных тракторов резко снижается. Установлено, что при трелевке предварительно сформированных пачек производительность трелевочных тракторов повышается в 1,6—2,2 раза.

Расчеты показывают, что значительное уменьшение площади, занимаемой волоками, достигается разработкой лесосек пасаками шириной 70—100 м. В этом случае предварительное пакетирование заготовленных в лентах деревьев можно осуществлять путем подтаскивания их к волокам лебедкой по узким, прорубленным посередине лент визирам. В целях уменьшения числа деревьев, вынужденно вырубаемых на визирах, последние не следует делать шире среднего расстояния между деревьями в оставляемом после рубки древостое.

Для выбора параметров лебедок необходимо знать сопротивление перемещению деревьев по визирам, удельную энергоемкость процесса подтаскивания, производительность этого процесса и степень повреждения оставляемого покорню древостоя. Значения основных показателей процесса пакетирования определяются средним объемом со-

бираемых деревьев, объемом подтаскиваемых пачек, скоростью подтаскивания и другими параметрами лесосеки и лебедки.

Объем пачки, подтаскиваемой по визиру, можно определить с учетом полного использования ширины визира по формуле

$$V_n = \frac{k_1 k_2 b^2 V_{cp}}{d_{1,3}^2}, \quad (1)$$

где  $V_n$  — объем пачки, м<sup>3</sup>;

$b$  — ширина визира, м;

$V_{cp}$  — средний объем хлыста, м<sup>3</sup>;

$d_{1,3}$  — средний диаметр деревьев, м<sup>3</sup>;

$k_1$  — коэффициент, учитывающий соотношение между шириной визира и шириной пачки (определен опытным путем);

$k_2$  — коэффициент, учитывающий соотношение между шириной и высотой пачки (определен опытным путем).

Сопrotивление перемещению пачки описывается уравнением

$$P = V_n \gamma_V (\mu \cos \alpha \pm \sin \alpha), \quad (2)$$

где  $P$  — сопротивление перемещению пачки, кН;

$\gamma_V$  — объемный вес древесины, кН/м<sup>3</sup>;

$\mu$  — коэффициент сопротивления движению пачки;

$\alpha$  — угол отклонения волока от горизонта, рад.

Мощность двигателя лебедки для подтаскивания пачек (кВт) находим по формуле

$$N = P v, \quad (3)$$

где  $v$  — скорость перемещения пачки, м/с.

Часовая производительность процесса пакетирования (м<sup>3</sup>/ч) связана со скоростью перемещения пачки уравнением

$$\Pi_{ч} = \frac{3600 V_n}{t + \frac{L}{v}}, \quad (4)$$

где  $t$  — время выполнения ручных операций за один цикл, с;

$L$  — расстояние подтаскивания, м.

Удельная работа пакетирования (кДж/м<sup>3</sup>) определяется уравнением

$$k_r = \gamma_V (\mu \cos \alpha \pm \sin \alpha) (t v + L). \quad (5)$$

Наибольшая ширина пачки равна ширине визира, но в этом случае увеличивается повреждаемость деревьев. Так как с ростом объема пачки часовая производительность возрастает, необходимо определить оптимальный объем пачки, обеспечивающий максимум производительности при небольших повреждениях оставляемого на корню древостоя.

С увеличением скорости подтаскивания часовая производительность пакетирования возрастает по гиперболической кривой, а мощность, необходимая для подтаскивания, — пропорционально скорости. Оптимальной является скорость подтаскивания, при которой возрастание мощности оправдывается увеличением производительности процесса.

В целях определения оптимальных значений объема пачек, скорости их подтаскивания и значений основных показателей процесса пакетирования были выполнены экспериментальные исследования.

Опытные рубки проводили в древостоях различного состава со средним диаметром вырубаемых деревьев: 0,04 м (прочистки), 0,08 м (прореживания) и 0,12 м (проходные рубки).

Объем заготовленного на 1 га леса при прочистках составил 20 м<sup>3</sup>, прореживаниях — 35 м<sup>3</sup> и проходных рубках — 50 м<sup>3</sup>. Варианты опытов различались длиной лент (25 и 50 м) и объемом собираемых пачек (от 0,1 до 0,7 м<sup>3</sup>). Ширину лент принимали равной 15 м, ширину визира — 1,0—1,5 м (в зависимости от вида рубки). При выполнении рубок замеряли поэлементные затраты времени и фиксировали количество и размер собираемых в пачку деревьев, размеры и объем пачек, сопротивление их сбору и движению по визиру и расстояние подтаскивания.

Часть пачек выборочно взвешивали для уточнения соотношения между объемом и весом пачки. После проведения рубок определяли количество принудительно вырубленных и поврежденных деревьев. Общая площадь пройденных опытными рубками лесосек составила 7 га, количество сформированных пачек деревьев — 300, взвешенных пачек — 50.

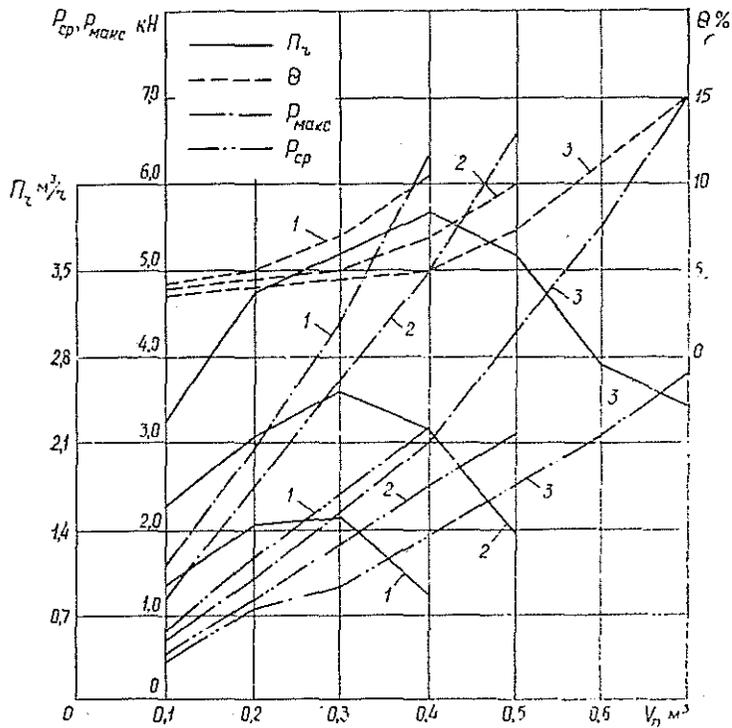


Рис. 1.

1 — средний диаметр собираемых деревьев 0,04 м; 2 — 0,08 м;  
3 — 0,12 м.

Приведенные ниже результаты исследований представляют собой усредненные, в пределах одного вида рубки, показатели работы на лесосеках. Графики зависимости часовой производительности, среднего  $P_{ср}$  и максимального  $P_{макс}$  усилий подтаскивания пачек и ущерба древостою  $\theta$  от объема подтаскиваемых пачек для разных видов рубок представлены на рис. 1 ( $\theta$  — отношение количества принудительно вырубленных и поврежденных деревьев к количеству оставляемых после рубки на корню, выраженное в процентах). Из графиков видно, что усилие подтаскивания наиболее интенсивно возрастает при объемах пачек, близких к предельному для заданной ширины визира, что объяс-

няется уменьшением возможности подправить движение пачки в ограниченном пространстве визира.

С возрастанием объема подтаскиваемой пачки часовая производительность сначала возрастает, а затем снижается. Объясняется это тем, что движение большой пачки трудно подправить, и для преодоления препятствия ее необходимо перечокачивать.

С увеличением объема подтаскиваемых по визирам пачек повреждаемость деревьев повышается с 4 до 12%. Наибольший ущерб имеет место при прочистках.

При подтаскивании пачек оптимального объема ущерб древоостою составлял 6—7%, а усилие подтаскивания не превышало 4,0 кН.

Уменьшение длины разрабатываемых лент с 50 до 25 м вследствие сокращения расстояния подтаскивания пачек дало рост часовой производительности на 20%. Однако при этом увеличивалось время переездов машины от визира к визиру и время подготовительно-заключительных работ. В связи с этим рабочий прирост производительности был невелик. При разработке лент меньшей длины уменьшался ущерб древоостою за счет возможности выбора визира с наименьшим количеством вырубаемых деревьев. Если на визире длиной 50 м принудительно вырубали 8—10 деревьев (прореживание), то на визире длиной 25 м — 2—3.

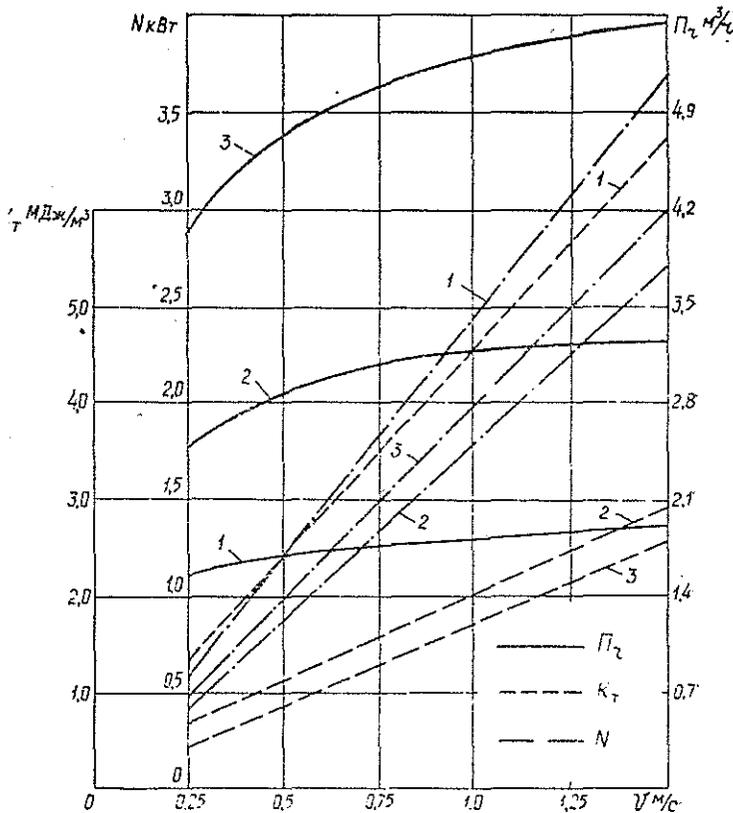


Рис. 2. Обозначения см. на рис. 1

Данные исследований процесса пакетирования дали возможность рассчитать часовую производительность, мощность и удельную работу пакетирования пачек оптимальных объемов при возрастании скорости их перемещения от 0,25 до 1,5 м/с. Результаты расчетов представлены на рис. 2. Из графиков видно, что с увеличением скорости подтаскивания пачек с 0,25 до 1,25 м/с часовая производительность при прочистке возрастает на 19%, при прореживании — на 20% и при проходных рубках — на 36%. Наибольший рост производительности имеет место при увеличении скорости подтаскивания до 0,75 м/с. В случае формирования пачек оптимального объема со скоростью 1,0 м/с средняя мощность при подтаскивании не превышает 3,0 кВт.

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Оптимальный объем пачек, подтаскиваемых по узким визирам, при прочистках составляет 0,2—0,3 м<sup>3</sup>, на прореживаниях — 0,3 м<sup>3</sup> и на проходных рубках — 0,4 м<sup>3</sup>.

2. В связи с большой трудоемкостью сбор деревьев на прочистках следует производить только при наличии спроса на тонкомерный лес или лесоводственных требований к очистке лесосеки.

3. Разработку лесосек лентами длиной до 25 м можно рекомендовать при рубках высокой интенсивности.

4. В целях повышения производительности пакетирования скорость подтаскивания пачек следует увеличивать до 1,0 м/с.

5. В качестве базы машины с двумя лебедками для пакетирования деревьев на рубках ухода можно использовать трактор класса 6,0 кН с мощностью двигателя более 15 кВт.

Поступила 21 декабря 1976 г.

УДК 656.136.004.5

## ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ И РАЦИОНАЛЬНОЙ РЕЙСОВОЙ НАГРУЗКЕ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА

П. Д. КЛЫЧКОВ

Хабаровский политехнический институт

Анализируется влияние коэффициента тары, предопределяемого схемой автопоезда, на технико-экономические показатели и даются формулы для определения оптимального состава автопоезда.

Оптимальные значения энергонасыщенности (отношение мощности двигателя к массе автопоезда — так называемая «удельная мощность») и рейсовой нагрузки есть категории экономические. В настоящей статье они рассматриваются, исходя из достижения максимальной производительности или минимального удельного расхода топлива.

Использование термина «оптимальная удельная мощность» целесообразно тогда, когда речь идет об определении мощности двигателя, подлежащего установке на автомобиль-тягач, предназначенный для эксплуатации в составе автопоезда заданной грузоподъемности (следовательно, и определенной массы). В этом случае совершенно очевидно [4], что с повышением мощности устанавливаемого двигателя часовая транспортная работа (произведение средней скорости движения на грузоподъемность) автопоезда будет непрерывно возрастать до пре-

дела, ограниченного конструкцией транспортного средства и правилами дорожного движения, а удельный расход топлива — увеличиваться.

Если же исходить из предпосылки, что имеется некоторый конкретный автомобиль-тягач, и игнорировать показатель предельного веса автопоезда, установленный заводом-изготовителем по условиям гарантийной надежности и долговечности автомобиля-тягача, то вопрос об оптимальной удельной мощности предметов только в том случае, если ставится задача обеспечить заданный скоростной режим, при котором автопоезд не сдерживал бы движения всего транспортного потока, иными словами, когда речь идет о пропускной способности автодороги.

Для дорог с малой интенсивностью движения, к которым практически могут быть отнесены все лесовозные, термин «оптимальная удельная мощность автопоезда» теряет смысл, так как с увеличением числа прицепных осей к данному автомобилю-тягачу (увеличение рейсовой нагрузки) удельная мощность автопоезда уменьшается, а производительность возрастает. Это положение подтверждается практикой [2, 3, 7] и может быть подтверждено теоретически.

Многочисленными экспериментами [1, 4, 6, 8—10] установлено, что с достаточной для практических целей точностью время, затрачиваемое на пробег единицы пути, может быть получено по формуле.

$$t = A + BG + CG^2, \quad (1)$$

где  $G$  — масса автопоезда;  
 $A, B, C$  — эмпирические коэффициенты.

Величина  $A$  для данного типа дорог определяется в основном максимальной конструктивной скоростью и плавностью хода автомобиля-тягача,  $C$  — мощностью двигателя; величина  $B$ , как правило, незначительна.

Сменная производительность автопоезда (автомобиля) в общем случае определяется по формуле

$$\Pi = \frac{T_{\text{см}} P}{l \left[ t_{\text{гр}} + t_x \left( \frac{1}{\beta} - 1 \right) \right] + T + aP}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{см}}$  — рабочее время за смену;  
 $P$  — рейсовая нагрузка;  
 $l$  — расстояние вывозки (плечо перевозок);  
 $t_{\text{гр}}$  — время на пробег единицы пути с грузом;  
 $t_x$  — время на пробег единицы пути без груза;  
 $\beta$  — коэффициент использования пробега;  
 $T$  — время на разгрузку и ожидание погрузки на 1 рейс;  
 $a$  — время, затрачиваемое на погрузку единицы груза.

Используя понятие коэффициента тары  $K = \frac{G - P}{P}$  и формулу (1), время на пробег единицы пути с грузом можно записать в следующем виде:

$$t_{\text{гр}} = A + BP(1 + K) + CP^2(1 + K)^2, \quad (3)$$

а время на пробег единицы пути порожнем

$$t_x = A + BPK + CP^2K^2. \quad (4)$$

Подставив значения  $t_{\text{гр}}$  и  $t_x$  в формулу (2) и исследуя функцию на экстремум, получим, что максимум  $\Pi$  соответствует рейсовой нагрузке

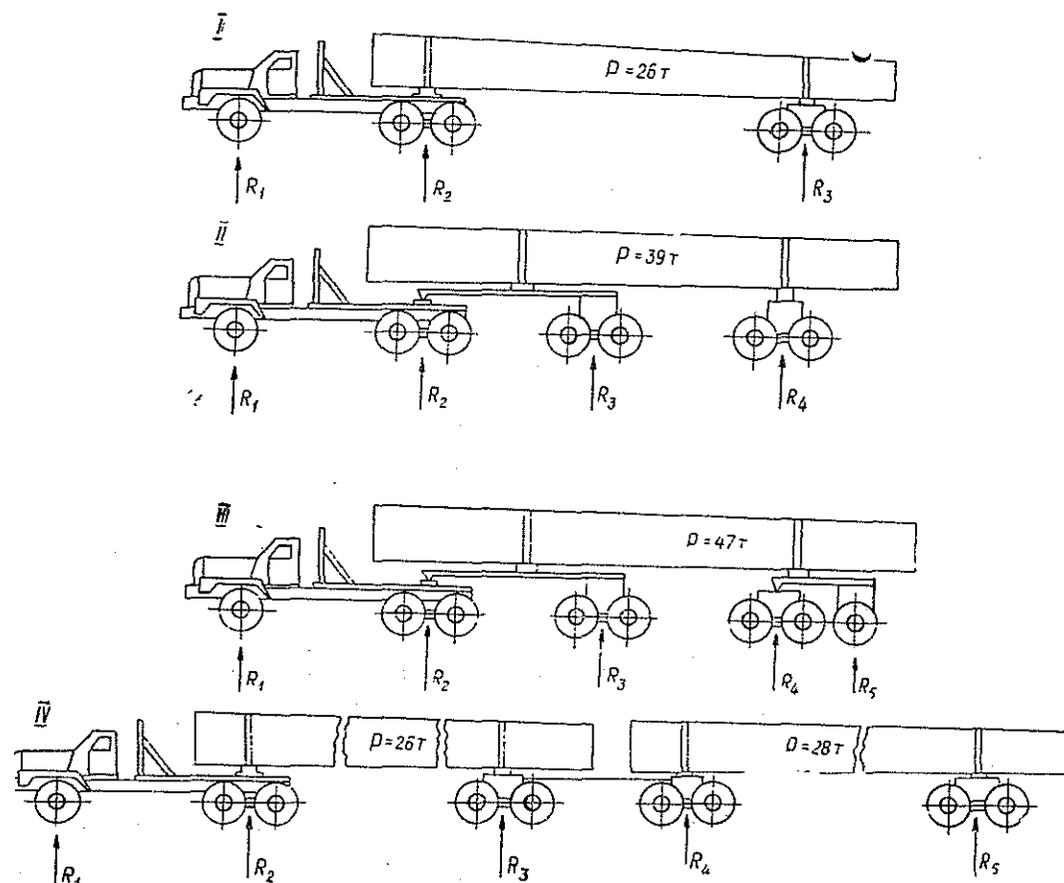


Рис. 1. Схемы автопоездов.

*I* — масса автопоезда  $G = 41,5$  т, коэффициент тары  $K = 0,595$ ; *II* —  $G = 59,5$  т,  $K = 0,526$ ;  
*III* —  $G = 69,5$  т,  $K = 0,480$ ; *IV* —  $G = 77,5$  т,  $K = 0,436$ .  $R_1 = 54$  кН;  $R_5 = 98,1$  кН;  
 $R_2 = R_3 = R_4 = R_6 = 176,5$  кН.

$$P = \sqrt{\frac{AI + \beta T}{CI[\beta(1 + 2K) + K^2]}} \quad (5)$$

При  $\beta = 0,5$  (что характерно для таких транспортных процессов, как вывозка леса и урожая, перевозка длинномерных грузов и др.)

$$P = \sqrt{\frac{2IA + T}{CI(1 + 2K + 2K^2)}} \quad (6)$$

а при  $\beta = 1$  (междугородные перевозки)

$$P = \sqrt{\frac{AI + T}{CI(1 + K)^2}} \quad (7)$$

Из формул (6) и (7) следует, что оптимальная рейсовая нагрузка при одностороннем направлении грузопотока значительно больше.

С увеличением рейсовой нагрузки возрастает масса автопоезда и уменьшается коэффициент тары (рис. 1).

Для автопоездов, комплектуемых на базе данного автомобиля-тягача, сменная производительность (рис. 2) возрастает с увеличением

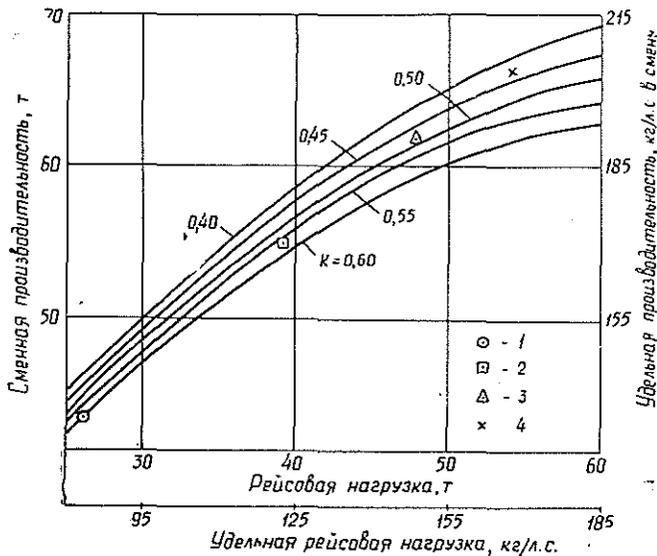


Рис. 2. Производительность, т в смену.

1 — схема I; 2 — схема II; 3 — схема III; 4 — схема IV. При построении графика использовано исходное уравнение  $t = 72 + 0,010G$  с/км;  $l = 65$  км;  $T = 22$  мин/рейс;  $N_e = 320$  л. с.

числа прицепных осей (при неизменной нагрузке на ось) до предела, ограниченного проходимостью автопоезда.

Та же картина имеет место и при оценке через удельную рейсовую нагрузку

$$P_y = \frac{P}{N_e}, \quad (8)$$

где  $N_e$  — мощность двигателя автомобиля-тягача.

В этом случае время на пробег единицы пути в зависимости от массы автопоезда или удельной мощности, по нашим данным [5], можно выразить формулой

$$t = A + \frac{C}{N_y^2} = A + C \left( \frac{G}{N_e} \right)^2, \quad (9)$$

где  $N_y$  — удельная мощность автопоезда.

Преобразовав формулы (3) и (4), подставим новые значения  $t_{гр}$  и  $t_x$  в формулу (2). Исследуя далее функцию  $\Pi_y = \frac{\Pi}{N_e}$  на экстремальные значения, получим, что максимум  $\Pi_y$  достигается при

$$P_y = \frac{P}{N_e} = \sqrt{\frac{A\alpha + \beta T}{C\alpha[\beta(1+2K) + K^2]}}. \quad (10)$$

Таким образом видим, что график (рис. 2) изменения удельной производительности в зависимости от рейсовой нагрузки в относительных единицах (кг/л. с.) справедлив для любого автомобиля-тягача при работе на данной дороге и одинаковом времени простоев  $T$ .

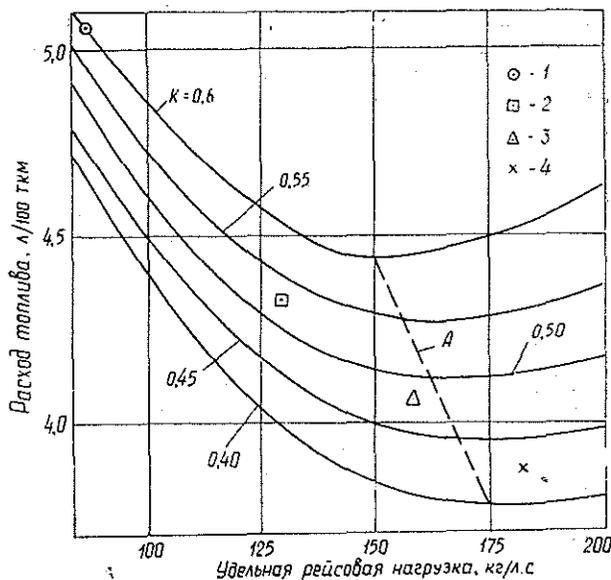


Рис. 3. Удельный расход топлива, л/100 т км.

А — линия минимальных расходов (зависимость от коэффициента тары). Обозначения см. на рис. 2. При построении графика использовано исходное уравнение  $Q = 44 + 0,17G + 0,015G^2$  л/100 км.

Расход топлива за единицу пути в зависимости от массы автопоезда на основании многочисленных экспериментальных данных [1, 4, 6, 8—10] описывается уравнением, аналогичным формуле (1),

$$Q = b_0 + b_1G + b_2G^2, \tag{11}$$

где  $b_0, b_1$  и  $b_2$  — эмпирические коэффициенты, получающиеся при математической обработке опытных данных.

Исследование этой функции (после замены  $G$  через  $P$  и  $K$ ) на экстремальные значения показывает, что минимум удельного расхода топлива  $q = \frac{Q}{P}$  имеет место при

$$P = \sqrt{\frac{b_0}{b_2[\beta(1+2K) + K^2]}}. \tag{12}$$

Для двигателей, имеющих одинаковые многопараметровые характеристики (линии равного расхода топлива в координатах угловая скорость коленчатого вала — среднее эффективное давление), расход топлива на единицу транспортной работы в абсолютных единицах зависит только от рейсовой нагрузки, приходящейся на единицу мощности двигателя, установленного на автомобиле-тягаче.

Из рис. 3 видно, что минимум удельного расхода топлива достигается для автомобиля-тягача с дизельным двигателем при рейсовой нагрузке значительно меньшей той, при которой имеет место максимум производительности.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Горбачевский В. А., Клычков П. Д. Испытания новых лесовозных автомобилей МАЗ-501Б. — «Лесная промышленность», 1964, № 11. [2]. Дорофеев А. Г. Вывозка леса двухкомплектными автопоездами в Советском леспромхозе. — Лесозаготовка и лесосплав. Реферативная информация. М., 1975, № 25 (ВНИПИ-ЭИлеспром). [3]. Дорофеев А. Г. и др. Вывозка леса двухкомплектными автопоездами. — «Лесная промышленность», 1976, № 2. [4]. Клычков П. Д. Об определении оптимальной удельной мощности проектируемого автопоезда. — «Автомобильная промышленность», 1961, № 11. [5]. Клычков П. Д. К расчету скоростей движения лесовозных автопоездов. — В кн.: Технология и комплексная механизация лесозаготовительных работ. Сборник научных трудов. Хабаровск, ХабПИ, 1973. [6]. Кузнецов В. И. К вопросу об оптимальном весе автомобильного поезда в условиях массовой перевозки зерна. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1967 (МАДИ). [7]. Немцов В. П. Лесная промышленность Канады. — «Лесная промышленность», 1975, № 6. [8]. Немцов В. П. Исследование износа двигателя лесовозного автомобиля ЗИЛ-157. — «Труды ЦНИИМЭ», 1964, вып. 48. [9]. Отчет ЦНИИМЭ по теме № 27, 1959. [10]. Результаты разработки лесовозного автопоезда грузоподъемностью 45 т. Совместный отчет НАМИ (тема № 43-61) и ЦНИИМЭ (тема № 3-е). М., 1965.

Поступила 6 декабря 1976 г.

УДК 629.11.012.814

## К ВОПРОСУ О ВЕРТИКАЛЬНОЙ ДИНАМИКЕ ЛЕСОВОЗНОГО АУТОПОЕЗДА

Р. Л. КОРОВКИН, Б. В. УВАРОВ, Е. С. БУРЯК

Архангельский лесотехнический институт

Предлагается новый метод расчета вертикальных колебаний автопоезда. Пакет хлыстов рассматривается как балка постоянной жесткости с бесконечным числом степеней свободы, лежащая на двух упругих опорах. Приводятся некоторые результаты расчетов, реализованных на ЭЦВМ «Минск-32».

При изучении вертикальной динамики автомобильных поездов в эквивалентных колебательных системах рассредоточенные массы деталей или агрегатов автомобиля заменяют приведенными сосредоточенными массами [5, 6], а гибкий пакет хлыстов — трехмассовой колебательной схемой.

В некоторых работах, в частности [1], реальный пакет хлыстов заменяется тремя, четырьмя или пятью сосредоточенными массами, расположенными в разных точках по длине пакета хлыстов.

Ниже предлагается учесть влияние гибкости пакета хлыстов на вертикальную динамику лесовозного автопоезда введением колебательной системы с бесконечным числом степеней свободы.

Пакет хлыстов на кониках автопоезда можно представить в первом приближении как балку постоянной жесткости, лежащую на двух упругих опорах, при следующих допущениях:

элементы рессорного подвешивания заднего моста невесома, их жесткости пропорциональны статическим нагрузкам;  
пути равноупругий, его диссипативные свойства не учитываются;  
колеса имеют двухстороннюю связь с основанием, т. е. не отрываются от дороги при движении автомобиля по неровностям.

Расчетная схема, соответствующая этим допущениям, представлена на рис. 1.

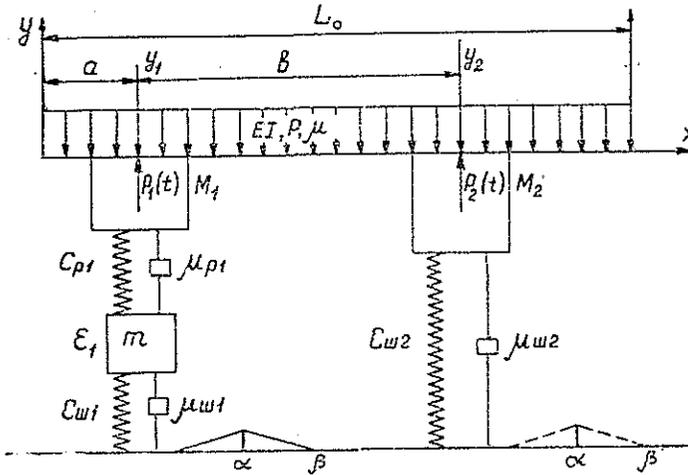


Рис 1.

Дифференциальное уравнение колебаний балки имеет вид

$$EI \frac{\partial^4 y(x, t)}{\partial x^4} + \rho \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} + \mu \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = P_1(t) \delta(x - a) + P_2(t) \delta(x - a - b). \quad (1)$$

Начальные условия:

$$y(x, 0) = 0; \quad \dot{y}(x, 0) = 0. \quad (2)$$

Граничные условия определяются способом опирания балки на концах

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = 0 \Big|_{x=0, x=l}; \quad \frac{\partial^3 y(x, t)}{\partial x^3} = 0 \Big|_{x=0, x=l}. \quad (3)$$

Правую часть дифференциального уравнения (1) можно найти из следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{\varepsilon}_1(t) &= 2C_{ш1} [q_1(t) - \varepsilon_1(t)] + 2\mu_{ш1} [\dot{q}_1(t) - \dot{\varepsilon}_1(t)] - \\ &\quad - P_1(t) - M_1 \ddot{y}(t); \\ P_1(t) &= 2C_{p1} [\varepsilon_1(t) - y_1(t)] + 2\mu_{p1} [\dot{\varepsilon}_1(t) - \dot{y}_1(t)] - \\ &\quad - M_1 \ddot{y}(t); \\ P_2(t) &= 2C_{ш2} [q_2(t) - y_2(t)] + 2\mu_{ш2} [\dot{q}_2(t) - \dot{y}_2(t)] - \\ &\quad - M_2 \ddot{y}(t). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В уравнениях (1), (4) обозначено:

- $EI$  — жесткость пакета хлыстов;
- $y$  — вертикальное перемещение пакета хлыстов;
- $\varepsilon$  — вертикальное перемещение неподрессоренных масс;
- $q(t)$  — вертикальные неровности;
- $\rho$  — масса пакета хлыстов в расчете на единицу длины пакета хлыстов;

- $\mu$  — коэффициент сопротивления пакета хлыстов, характеризующий сопротивление, пропорциональное первой производной по времени от осадки, в расчете на единицу длины пакета;  
 $P(t)$  — реакция динамической нагрузки;  
 $\delta(x-a), \delta(x-a-b)$  — дельта-функция Дирака;  
 $m$  — неподрессоренная масса, приходящаяся на заднюю ось двухосного автомобиля;  
 $M$  — поддрессоренная масса;  
 $C_{ш}$  — жесткость шин;  
 $\mu_{ш}$  — коэффициент сопротивления шин;  
 $C_{р1}$  — суммарная жесткость задних рессор автомобиля (основной и дополнительной);  
 $\mu_{р1}$  — коэффициент сопротивления задних рессор автомобиля.

Величины с индексом «1» относятся к заднему мосту автомобиля; с индексом «2» — к прицепу-ропуску.

Выполнив преобразование Лапласа по времени  $t$  в дифференциальном уравнении (1), учитывая начальные условия (2), получим

$$EI \frac{\partial^2 \bar{y}(x, S)}{\partial x^2} + \rho S^2 \bar{y}(x, S) + \mu S \bar{y}(x, S) = \bar{P}_1(S) \delta(x-a) + \bar{P}_2(S) \delta(x-a-b). \quad (5)$$

Изображениями граничных условий (3) будут:

$$\frac{\partial^2 \bar{y}(x, S)}{\partial x^2} = 0 \Big|_{x=0, x=l}; \quad \frac{\partial^3 \bar{y}(x, S)}{\partial x^3} = 0 \Big|_{x=0, x=l}. \quad (6)$$

Выполнив преобразование Лапласа в выражении (5) по координате  $x$  и поделив каждый член на  $EI$ , получим

$$P^4 \bar{y}(P, S) - P^3 \bar{y}(0, S) - \rho \bar{y}(0, S) + \frac{\rho S^2}{EI} \bar{y}(P, S) + \frac{\mu S}{EI} \bar{y}(P, S) = \frac{\bar{P}_1(S)}{EI} e^{-aP} + \frac{\bar{P}_2(S)}{EI} e^{-(a+b)P}. \quad (7)$$

Решение уравнения (7) в пространстве изображений Лапласа имеет вид:

$$\bar{y}(P, S) = \frac{P^3 \bar{y}(0, S)}{P^4 + 4\lambda^4(S)} + \frac{P^2 \bar{\varphi}(0, S)}{P^4 + 4\lambda^4(S)} + \frac{\bar{P}_1(S)}{EI} \frac{e^{-aP}}{P^4 + 4\lambda^4(S)} + \frac{\bar{P}_2(S)}{EI} \frac{e^{-(a+b)P}}{P^4 + 4\lambda^4(S)}, \quad (8)$$

где

$$4\lambda^4(S) = \frac{\rho S^2 + \mu S}{EI}.$$

Обращение преобразования Лапласа для выражения (8) по длине пакета хлыстов  $x$  можно получить по имеющимся формулам [3].

В данном случае будем иметь

$$\bar{y}(x, S) = \bar{y}(0, S) A(x) + \bar{\varphi}(0, S) \frac{B(x)}{2\lambda(S)} + \frac{\bar{P}_1(S) D(x-a)}{4\lambda^3(S) EI} + \frac{\bar{P}_2(S)}{4\lambda^3(S) EI} D(x-a-b), \quad (9)$$

где  $A(x)$ ,  $B(x)$ ,  $C(x)$ ,  $D(x)$  — балочные функции, определяемые обычным порядком.

Последовательным дифференцированием уравнения (9) могут быть получены выражения для угла поворота, изгибающего момента и перерезывающей силы в пространстве изображений Лапласа

$$\begin{aligned} \bar{M}(x, S) = & -2EI\lambda^2(S)\bar{y}(0, S)C(x) - EI\lambda(S)\bar{\varphi}(0, S)D(x) + \\ & + \frac{\bar{P}_1(S)}{2\lambda(S)}B(x-a) + \frac{\bar{P}_2(S)}{2\lambda(S)}B(x-a-b); \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \bar{Q}(x, S) = & -2EI\lambda^3(S)\bar{y}(0, S)B(x) - 2EI\lambda^2\bar{\varphi}(0, S)C(x) + \\ & + \bar{P}_1(S)A(x-a) + \bar{P}_2(S)A(x-a-b), \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\bar{y}(0, S)$ ,  $\bar{\varphi}(0, S)$  — постоянные интегрирования, являющиеся изображениями Лапласа прогиба левого конца  $y(0, t)$  и угла поворота левого сечения пакета хлыстов  $\varphi(0, t)$ .

Значения  $\bar{y}(0, S)$  и  $\bar{\varphi}(0, S)$  могут быть найдены из граничных условий (6), т. е.  $M(l, S) = Q(l, S) = 0$ , с учетом выражений (10), (11).

В конечном итоге нас интересуют прогибы пакета хлыстов в его точках опоры, т. е. на кониках автомобиля и прицепа-ропуска, поэтому учитывая (10) и (11), перепишем выражение (9) для точек опоры пакета хлыстов в следующем виде:

$$\begin{aligned} \bar{y}_1(S) = & \frac{\bar{P}_1(S)}{2\lambda^3(S)EI} \frac{A(a)[B(l-a)C(l) - A(l-a)D(l)] + \\ & + \frac{B(a)}{2}[A(l-a)C(l) - B(l-a)B(l)]}{2C^2(l) - B(l)D(l)} + \\ & + \frac{\bar{P}_2(S)}{2\lambda^3(S)EI} \frac{A(a)[B(l-a-b)C(l) - A(l-a-b)D(l)] + \\ & + \frac{B(a)}{2}[A(l-a-b)C(l) - B(l-a-b)B(l)]}{2C^2(l) - B(l)D(l)}; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \bar{y}_2(S) = & \frac{\bar{P}_2(S)}{2\lambda^3(S)EI} \frac{A(a+b)[B(l-a-b)C(l) - A(l-a-b)D(l)] + \\ & + \frac{B(a+b)}{2}[A(l-a)C(l) - B(l-a-b)]}{2C^2(l) - B(l)D(l)} + \\ & + \frac{\bar{P}_1(S)}{2\lambda^3(S)EI} \frac{A(a+b)[B(l-a)C(l) - A(l-a)D(l)] + \\ & + \frac{B(a+b)}{2}[A(l-a)C(l) - B(l-a)B(l)]}{2C^2(l) - B(l)D(l)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Таким образом, получили два уравнения перемещения пакета хлыстов в точках его опоры.

Выполним преобразование Лапласа в системе дифференциальных уравнений (4), при этом начальные условия примем равными нулю.

$$\left. \begin{aligned} mS^2\bar{\varepsilon}_1(S) = & 2C_{ш1}[\bar{q}_1(S) - \bar{\varepsilon}_1(S)] + 2\mu_{ш1}S[\bar{q}_1(S) - \bar{\varepsilon}_1(S)] - \\ & - \bar{P}_1(S) - M_1S^2\bar{y}_1(S); \\ \bar{P}_1(S) = & 2C_{р1}[\bar{\varepsilon}_1(S) - \bar{y}_1(S)] + 2\mu_{р1}S[\bar{\varepsilon}_1(S) - \bar{y}_1(S)] - M_1S^2\bar{y}_1(S); \\ \bar{P}_2(S) = & 2C_{ш2}[\bar{q}_2(S) - \bar{y}_2(S)] + 2\mu_{ш2}S[\bar{q}_2(S) - \bar{y}_2(S)] - M_2S^2\bar{y}_2(S). \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (14) с учетом выражений (12) и (13) дает возможность получить изображения Лапласа

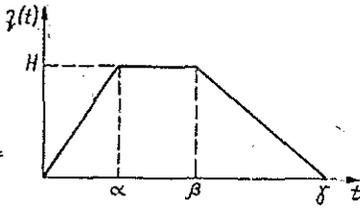


Рис. 2. Зависимость возмущающей функции от времени.

вертикальных нагрузок на оси автомобиля и прицепа и вертикальных перемещений кузова и колес автомобиля. Изображение Лапласа для вертикальных ускорений кузова и прицепа могут быть получены умножением соответствующих перемещений на  $S^2$ . Для обращения Лапласа целесообразно использовать численный метод А. Папулиса [3]. Возмущающая функция  $q_{1,2}(t)$  в общем случае определяется микропрофилем дороги. В частном случае микропрофиль дороги можно представить в виде отдельных неровностей различной формы и размеров (рис. 2). Придавая параметрам  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  различные значения, можно получить неровности прямоугольной, треугольной и трапециевидальной формы. Изображение Лапласа для указанной на рис. 2 зависимости возмущающей функции имеет вид

$$\bar{q}(S) = \pm H \left[ \frac{1 - e^{-\alpha S}}{\alpha S^2} + \frac{e^{-\beta S} - e^{-\gamma S}}{S^2(\beta - \gamma)} \right], \quad (15)$$

где  $H$  — высота выступов неровностей. Знак перед  $H$  отвечает выступу (+) или впадине (—) на дороге.

Полученное решение может быть распространено на другие виды возмущающей функции.

Программа численного обращения выражений (12)—(14) составлена для ЭЦВМ «Минкс-32» на алгоритмическом языке АКИ. Реализация программы позволяет получить вертикальные нагрузки, действующие на оси лесовозного автомобиля и прицепа, вертикальные перемещения кузова и колес автомобиля, а также вертикальные ускорения различных частей автомобиля. Используемый для обратного преобразования Лапласа численный метод А. Папулиса имеет вполне достаточную точность, что было доказано в работе [4]. Недостатком этого, как и других методов численного обращения Лапласа, является потеря точности при увеличении времени действия возмущающей функции. Указанная программа составлена для случая, когда возмущающая функция (неровность дороги) представлена в виде выступа треугольной формы — наиболее характерной неровности на гравийной дороге.

По программе было выполнено значительное количество вычислений применительно к микропрофилю лесовозных гравийных дорог с вывозкой деревьев в хлыстах на лесовозном поезде МАЗ-509+2Р-15.

Расчеты выполнялись для различных скоростей движения (20, 30 и 40 км/ч), значений жесткости пакета хлыстов ( $2 \cdot 10^{12}$ ,  $3 \cdot 10^{11}$  и  $3 \cdot 10^{10}$  кгс/см<sup>2</sup>) и высот выступов неровностей (3, 5 и 7 см).

Возмущающая функция в виде выступа треугольной формы располагалась поочередно: под задними колесами автомобиля; под колесами прицепа-ропуска; одновременно под задними колесами автомобиля и колесами прицепа-ропуска.

Для иллюстрации на рис. 3 приводятся результаты расчета вертикальных ускорений и перемещений отдельных частей автопоезда и динамических нагрузок на коник автомобиля (а) и прицепа-ропуска (б). Данные расчета соответствуют возмущающей функции с параметрами:  $H=5$  см, длина до перелома — 1 м, полная длина неровности — 2,65 м, скорость — 40 км/ч, жесткость хлыстов  $EI=2 \cdot 10^{12}$  кгс/см<sup>2</sup>.

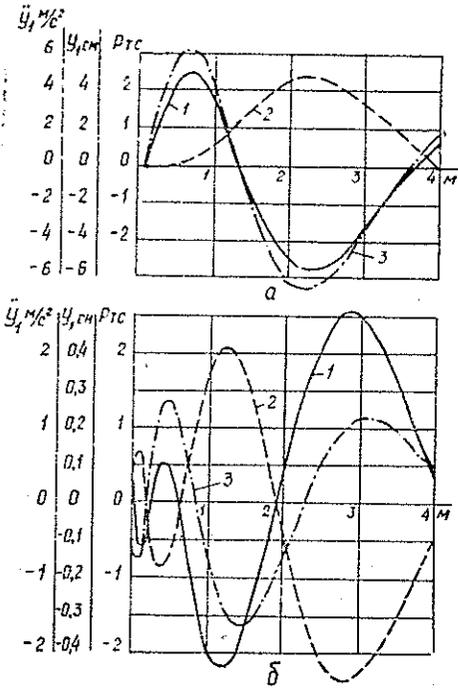


Рис. 3.

1 — динамическая нагрузка на коник; 2 — перемещение; 3 — ускорение.

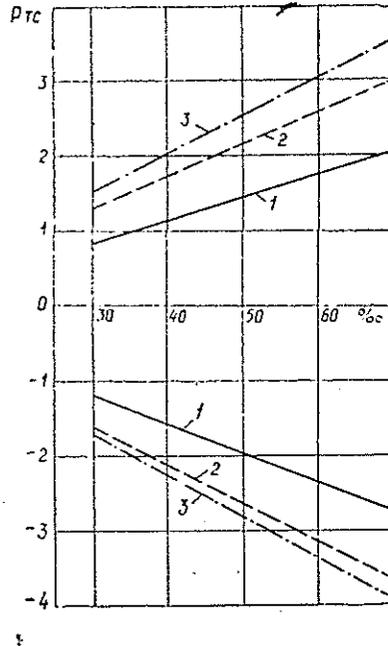


Рис. 4.

1 —  $v = 20$  км/ч; 2 —  $v = 30$  км/ч;  
3 —  $v = 40$  км/ч.

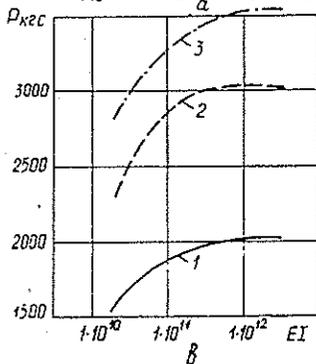
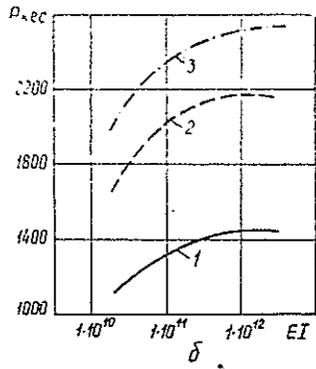
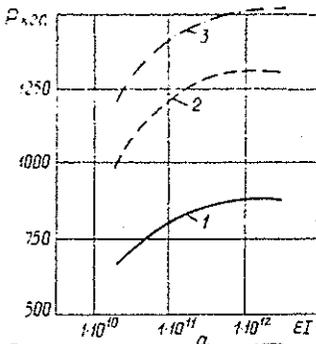


Рис. 5.

а —  $H = 3$  см; б —  $H = 5$  см;  
в —  $H = 7$  см.  
1 —  $v = 20$  км/ч; 2 —  $v = 30$  км/ч;  
3 —  $v = 40$  км/ч.

Численные значения исходных величин выбраны в соответствии с установленными характеристиками автопоезда и пакета хлыстов по методике [2].

Как следует из рис. 3, динамическая нагрузка на коник автомобиля, как и ускорение, достигает максимума прежде, чем заднее колесо автомобиля достигнет наибольшей высоты. Для коника прицепа-ропуски в данном случае характерно наличие высокочастотных колебаний нагрузки в начальный момент движения, причем максимум нагрузки на коник прицепа-ропуски значительно запаздывает.

На рис. 4 представлен график зависимости максимальной динамической нагрузки на коник автомобиля от уклона неровности.

Значительный интерес представляет анализ зависимости максимальных динамических нагрузок от жесткости пакета хлыстов (рис. 5). Как видно из графика, при изменении жесткости на порядок динамическая нагрузка возрастает довольно быстро, а затем практически не

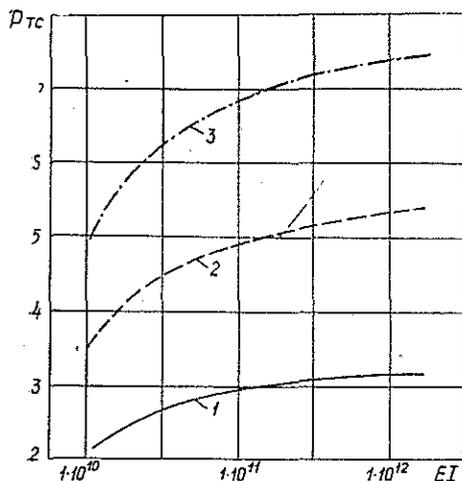


Рис. 6. Обозначения см. на рис. 5.

меняется. Такой же вывод можно сделать и при рассмотрении графика на рис. 6, где показана зависимость максимальной динамической нагрузки на коник прицепа-ропуски при возмущающей функции под его колесами.

Если задние колеса автомобиля и прицепа-ропуски одновременно проходят по одинаковым неровностям, то максимальные динамические нагрузки на коники автомобиля и прицепа-ропуски значительно меньше, чем при проезде одиночных неровностей.

Хотя расчеты выполнены для неровностей одной длины, результаты их справедливы и для других длин при тех же уклонах неровностей. Меньшими значениями ускорений и динамических усилий

окажутся только в том случае, когда расстояние от начала до наибольшей высоты будет менее 0,6—0,7 м.

Дальнейшее развитие предлагаемого метода, по нашему мнению, должно сводиться к замене пакета постоянной жесткости на пакет ступенчатым ее изменением.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Билык Б. В., Перетятко Б. Г. К вопросу о выборе расчетной схемы пакета хлыстов при исследовании вертикальных колебаний трелевочных тракторов. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 5. [2]. Гастев Б. Г., Мельников В. И. Основы динамики лесовозного подвижного состава. М., «Лесная промышленность», 1967. [3]. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования. М., «Наука», 1971. [4]. Коровкин Р. Л. Исследование работы железобетонных плит и оснований колеиных покрытий автомобильных лесовозных дорог при динамическом нагружении. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1972. [5]. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля. М., «Машиностроение», 1972. [6]. Яценко Н. Н. Колебания, прочность и форсированные испытания грузовых автомобилей, М., «Машиностроение», 1972.

Поступила 23 сентября 1976 г.

УДК 625.572

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ НЕЗАМКНУТОГО ТЯГОВОГО КАНАТА

И. И. СЛЕПКО, Э. Н. МАТВЕЕВ

Хмельницкий технологический институт

Львовский лесотехнический институт

Изложены результаты теоретических исследований динамики незамкнутого тягового каната подвесных лесотранспортных установок при подъеме груза и его стопорении с учетом податливости канатной оснастки и привода. Получены выражения для определения динамических усилий в тяговом канате, уравнение движения груза при его подъеме к каретке и коэффициент динамичности усилий при стопорении груза.

Надежность работы подвешенной установки определяется надежностью работы канатной оснастки.

Цикл работы тягового каната подвесной лесотранспортной установки можно разделить на четыре характерных периода [1].

Экспериментальные исследования усилий в элементах канатной оснастки подвесных канатных установок с маятниковым движением груза, проведенные в производственных условиях проф. Н. М. Белой [2], показали, что максимальные усилия в тяговом канате возникают в первый период его работы — при подтягивании груза со стороны к линии несущего каната, подъеме, прицепке к каретке и стопорении.

Вопросу динамики незамкнутого тягового каната подвесных лесотранспортных установок посвящены работы [1, 3, 5, 9], в которых принято допущение, что грузовая каретка имеет абсолютно жесткую подвеску. В то же время Н. М. Белая отмечает, что упругая подвеска каретки на несущем канате способствует уменьшению максимальных динамических усилий в тяговом канате.

В данной статье исследуется динамика незамкнутого тягового каната подвесной лесотранспортной установки с учетом податливости канатной системы. При этом предполагается, что смещение блока каретки за счет ее упругой подвески на несущем канате прямо пропорционально усилию  $S$  в тяговом канате.

При исследовании усилий в тяговом канате последний рассматривается как идеально упругая гибкая нить переменной длины [8], которая не проскальзывает по блоку каретки и навивается на барабан лебедки с постоянной скоростью.

Расчетные схемы работы тягового каната, соответствующие реальным схемам, представлены на рис. 1 и 2.

При подъеме и стопорении груза весом  $P$  усилие  $S$ , возникающее в тяговом канате, передается на несущий канат и вызывает перемещение  $\Delta f$  каретки в вертикальной плоскости, проходящей через ось несущего каната.

Разложим перемещение  $\Delta f$  на вертикальную  $\Delta f_x$  и горизонтальную  $\Delta f_y$  составляющие.

Допуская линейную зависимость между перемещением  $\Delta f$  каретки и усилием  $S$  в тяговом канате, получим

$$\Delta f_x = \lambda_1 S; \quad \Delta f_y = \lambda_2 S, \quad (1)$$

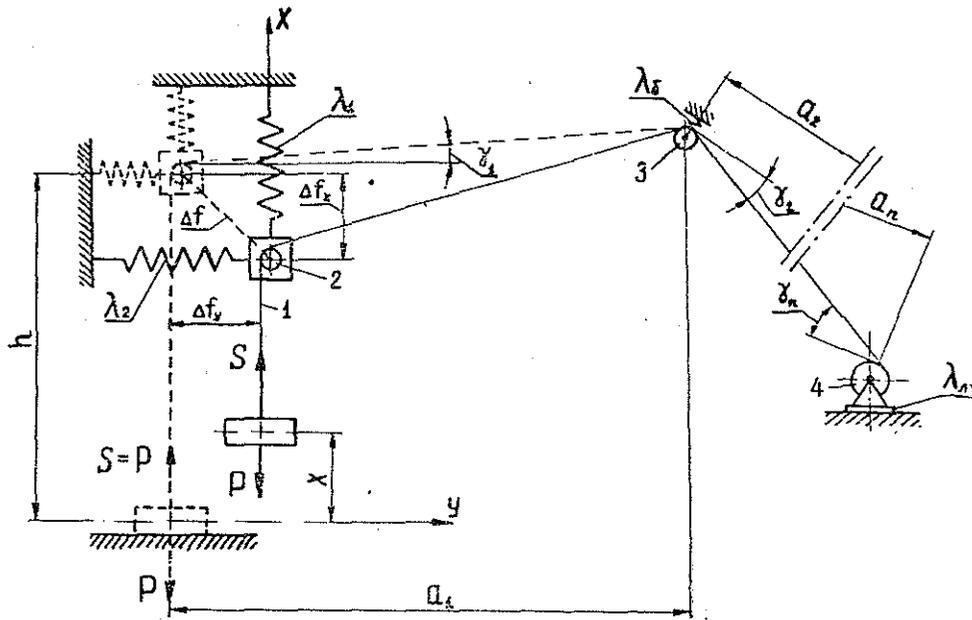


Рис. 1. Схема работы тягового каната при подъеме груза.

1 — тяговой канат; 2 — направляющий блок каретки; 3 — промежуточные направляющие блоки; 4 — приводная лебедка.

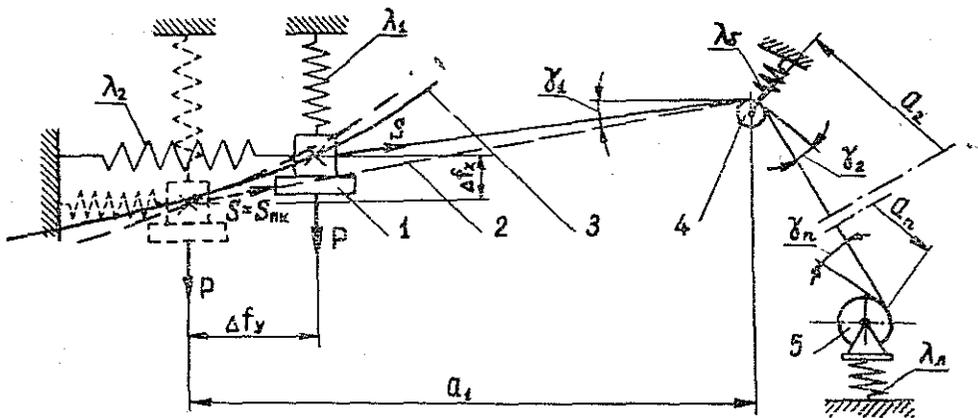


Рис. 2. Схема работы незамкнутого тягового каната при стопорении груза.

1 — каретка с грузом; 2 — тяговой канат; 3 — несущий канат; 4 — направляющий блок; 5 — приводная лебедка.

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — коэффициенты податливости несущего каната соответственно в поперечном и продольном направлениях.

Коэффициенты  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  зависят от длины установки, места расположения стопора в пролете, монтажного натяжения несущего каната, податливости опор и других факторов.

Под действием собственного веса тяговый канат провисает на участках между направляющими блоками. Величина провеса зависит от натяжения каната.

Изменение длины тягового каната в зависимости от изменения усилия  $S$  можно определить исходя из геометрической стороны задачи теории расчета гибких нитей [4, 6].

### Подъем груза

В начале вращения барабана при подъеме груза натяжение несущего каната равно монтажному  $T_0$ , а усилие в тяговом канате практически равно нулю. При трогании груза с места каретка перемещается на достаточно большую величину и длина тягового каната значительно сокращается. Поэтому при определении усилий в канате за начальный прием момент отрыва груза от земли, при котором  $S = P$ .

Дифференциальное уравнение движения груза имеет вид

$$m\ddot{x} = S - P, \quad (2)$$

где  $m$  — масса груза;

$x$  — координата груза.

Предполагая, что продольная жесткость каната не зависит от его длины, на основании закона Гука приращение абсолютного удлинения каната за бесконечно малый промежуток времени можно выразить формулой

$$d(\Delta l_i) = \frac{l_i}{EF} dS, \quad (3)$$

где  $dS$  — приращение усилия в тяговом канате;

$\Delta l_i$  — абсолютное удлинение каната;

$EF$  — продольная жесткость тягового каната как агрегата;

$l_i$  — длина каната в данный момент времени

$$l_i = l_0 - vt, \quad (3a)$$

$v$  — линейная скорость навивки каната на барабан лебедки;

$t$  — время вращения барабана;

$l_0$  — длина каната в момент отрыва груза от земли;

$$l_0 = h + \sum_{i=1}^n l_{oi}, \quad (3б)$$

$h$  — высота подъема груза;

$n$  — число участков тягового каната, равное количеству направляющих блоков;

$l_{oi}$  — длина тягового каната в  $i$ -том участке между направляющими блоками, равная [4, 6]

$$l_{oi} = \frac{a_i}{\cos \gamma_i} + \frac{q^2 a_i^3}{24P^2 \cos \gamma_i}, \quad (3в)$$

$q$  — вес 1 пог. м тягового каната;

$a_i, \gamma_i$  — соответственно горизонтальная проекция и угол наклона к горизонту хорды  $i$ -того участка тягового каната.

Рассматривая геометрическую сторону задачи с учетом кинематики, получим

$$d(\Delta L_t) = vdt - \sum_{i=1}^n d(\Delta L_i) - d(\Delta L_f) - dx - d(\Delta L_n), \quad (4)$$

где  $dx$  — приращение координаты груза;  
 $d(\Delta L_i)$  — приращение изменения длины каната в  $i$ -том участке за счет изменения стрелки его провеса;  
 $d(\Delta L_n)$  — приращение изменения длины каната за счет податливости привода и направляющих блоков

$$d(\Delta L_n) = \left( \lambda_n + \sum_{i=1}^n \lambda_{6i} \right) dS, \quad (4a)$$

$\lambda_n$  — коэффициент податливости привода;  
 $\lambda_{6i}$  — коэффициент податливости  $i$ -того направляющего блока;  
 $\Delta L_f$  — изменение длины каната за счет перемещения каретки, которое равно (рис. 1)

$$\Delta L_f = \Delta f_x (1 - \sin \gamma_1) + \Delta f_y \cos \gamma_1^*. \quad (5)$$

Используя выражения (1) и (5), получим

$$\Delta L_f = [\lambda_1 (1 - \sin \gamma_1) + \lambda_2 \cos \gamma_1] S. \quad (5a)$$

Предполагая, что угол  $\gamma_1$  не зависит от перемещения каретки, так как  $\Delta f \ll a_1$ , получим приращение изменения  $d(\Delta L_f)$  за бесконечно малый промежуток времени  $dt$

$$d(\Delta L_f) = [\lambda_1 (1 - \sin \gamma_1) + \lambda_2 \cos \gamma_1] dS. \quad (6)$$

Используя (3в), с некоторым приближением можно принять

$$d(\Delta L_i) = \frac{q^2 a_i^3}{12P^3 \cos \gamma_i} dS. \quad (7)$$

На основании формул (4а), (6) и (7) выражение (4) можно записать в виде

$$d(\Delta L_t) = vdt - dx - \lambda dS, \quad (8)$$

где

$$\lambda = \lambda_1 (1 - \sin \gamma_1) + \lambda_2 \cos \gamma_1 + \lambda_n + \sum_{i=1}^n \left( \lambda_{6i} + \frac{q^2 a_i^3}{12P^3 \cos \gamma_i} \right).$$

Вводя понятие приведенной длины тягового каната

$$L_{np} = l_0 + \lambda EF,$$

из равенств (3) и (8) получим

$$\frac{L_{np} - vt}{EF} dS = vdt - dx \quad (9)$$

или

$$(1 - \epsilon t) \dot{S} = \frac{A_{np}}{l_0} (v - \dot{x}), \quad (10)$$

\* В выражении (5) угол  $\gamma_1 > 0$  при условии, что направляющий блок расположен выше каретки; в противном случае  $\gamma_1 < 0$ .

где 
$$\varepsilon = \frac{v}{L_{np}}; \quad A_{np} = \frac{EF}{1 + \frac{\lambda EF}{l_0}}.$$

Величину  $A_{np}$  можно рассматривать как условную приведенную продольную жесткость канатной оснастки.

Таким образом, динамика подъема груза описывается системой дифференциальных уравнений (2) и (10)

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= g \left( \frac{1}{P} S - 1 \right); \\ \dot{x} &= v - \frac{l_0}{A_{np}} (1 - \varepsilon t) \dot{S} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

с начальными условиями

$$x|_{t=0} = 0; \quad \dot{x}|_{t=0} = 0; \quad S|_{t=0} = P,$$

где  $g$  — ускорение свободного падения.

Система дифференциальных уравнений (11) приводится к уравнению второго порядка вида

$$(1 - \varepsilon t) \ddot{S} - \varepsilon \dot{S} + k^2 S = k^2 P, \quad (12)$$

где

$$k^2 = \frac{A_{np}}{l_0} \frac{g}{P}.$$

Поскольку  $\varepsilon \ll 1$ , то общее решение уравнения (12) будем искать в виде ряда

$$S(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n S_n(t). \quad (13)$$

Подставляя (13) в (12), получим систему линейных неоднородных дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \ddot{S}_0 - \varepsilon \dot{S}_0 + k^2 S_0 &= k^2 P, \\ \ddot{S}_j - \varepsilon \dot{S}_j + k^2 S_j &= t \ddot{S}_{j-1}, \quad j = 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Решая систему (14) и ограничиваясь двумя членами ряда (13) с учетом, что  $\varepsilon = 2\alpha$ ,  $\beta = \sqrt{k^2 - \alpha^2}$ , получим

$$\begin{aligned} S(t) = P + \frac{A_{np} v}{l_0 \beta} e^{\alpha t} \left\{ \left[ \left( 1 - \frac{\alpha^2}{\beta^2} \right) \left( 1 - \frac{\alpha t}{2} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \alpha^2 t^2 \right] \sin \beta t + [(\beta^2 - \alpha^2) t + 2\alpha] \frac{\alpha t}{2\beta} \cos \beta t \right\}. \end{aligned} \quad (15)$$

Если в уравнении (15) принять  $\alpha = 0$ , то получим выражение для определения максимального усилия в тяговом канате, которое полностью соответствует формуле проф. М. С. Комарова [7], где величина  $\frac{A_{np}}{l_0}$  является приведенной жесткостью системы  $C_{np}$ .

Для получения уравнения движения груза решаем систему уравнений (11) относительно координаты  $x$ . Система (11) приводится к уравнению

$$(1 - \varepsilon t) \ddot{y} + k^2 y = k^2 v, \quad (16)$$

где  $y = \dot{x}$ .

Общее решение неоднородного уравнения (16) находим в виде ряда

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n y_n(t). \quad (17)$$

Ограничиваясь двумя членами ряда (17) и используя начальные условия, получим приближенное уравнение движения груза

$$x(t) = vt - \frac{v}{k} \left(1 + \frac{at}{2}\right) \sin kt + \frac{vt^2}{2} a \cos kt. \quad (18)$$

#### Стопорение груза

За начало процесса стопорения принимаем момент встречи груза с кареткой. Начальное усилие  $S_{п.к}$  в тяговом канате в момент прицепки груза к каретке определяется из уравнения (15). Для случая стопорения при  $h = 0$  и  $x = 0$ , уравнение (8) принимает вид

$$d(\Delta l_i) = v dt - \lambda dS, \quad (19)$$

где 
$$\lambda = \lambda_1 \sin \gamma_1 + \lambda_2 \cos \gamma_1 + \lambda_n + \sum_{i=1}^n \left( \lambda_{\delta i} + \frac{q^2 a_i^3}{12 S_{п.к}^3 \cos \gamma_i} \right).$$

Приравнявая правые части равенств (1) и (2), получим дифференциальное уравнение

$$\frac{1}{EF} \frac{dS}{dt} (L_{np} - vt) = v \quad (20)$$

с начальным условием  $S|_{t=0} = S_{п.к}$ .

Из уравнения (20)

$$S = S_{п.к} - EF \ln \left( 1 - \frac{v}{L_{np}} t \right). \quad (21)$$

Для реальных установок отношение  $\frac{v}{L_{np}} \ll 1$ , а время от момента прицепки груза к каретке до выключения лебедки не превышает 1—2 с. Исходя из этого, разложим  $\ln \left( 1 - \frac{v}{L_{np}} t \right)$  в ряд и, ограничиваясь первым членом ряда, получим

$$S = S_{п.к} + EF \frac{v}{L_{np}} t = S_{п.к} + \frac{A_{np}}{l_0} vt. \quad (22)$$

Если принять с некоторым приближением, что усилие в канате в момент прицепки груза к каретке равно его весу, т. е.  $S_{п.к} = P$ , получим

$$S = P + \frac{A_{np}}{l_0} vt, \quad (23)$$

а коэффициент динамичности усилий в тяговом канате после прицепки груза к каретке

$$k_x = 1 + \frac{A_{np}}{P} \frac{v}{l_0} t. \quad (24)$$

Уравнения (15) и (22) позволяют исследовать характер изменения динамических усилий в тяговом канате в зависимости от конструктивных и эксплуатационных параметров установки. Уменьшение жесткости тягового каната и увеличение податливости системы способствуют снижению динамических усилий в тяговом канате.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Белая Н. М. Исследование динамики незамкнутых тяговых канатов подвесных лесотранспортных установок. — В сб.: Стальные канаты. Вып. 4. Киев, «Техника», 1967. [2]. Белая Н. М. Исследование работы подвесных канатных лесотранспортных установок и перспективы их развития и совершенствования. — В сб.: Проблемы комплексных лесных предприятий в Карпатах. Ужгород, «Карпаты», 1969. [3] Белая Н. М. Про динамку незамкнутого тягового каната при підніманні вантажу до каретки, його прицепленні та стопорінні. — В сб.: Лісова, паперова і деревообробна промисловість. Вып. 8. Киев, «Будівельник», 1971. [4]. Белая Н. М., Прохоренко А. Г. Канатные лесотранспортные установки. М., «Лесная промышленность», 1964. [5]. Дроздовский В. Г. Исследование динамических усилий в незамкнутом тяговом канате подвесных лесотранспортных установок при подъеме груза к автоматической каретке. — «Труды ЦНИИМЭ». Химки, 1968, вып. 88. [6]. Качурин В. К. Теория висячих систем. М.—Л., Госстройиздат, 1962. [7]. Комаров М. С. Динамика грузоподъемных машин. М.—Киев, Машигиз, 1962. [8]. Савин Г. Н., Горошко О. А. Динамика нити переменной длины. Киев, АН УССР, 1962. [9]. Стан И. Динамические нагрузки в тросах воздушно-трелевочных установок ВТУ-3 при подъеме груза к каретке. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1965, № 2.

Поступила 7 июня 1976 г.

УДК 625.572

### ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ НЕСУЩЕГО КАНАТА ПОДВЕСНОЙ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ОТРЫВЕ ГРУЗА ОТ ГРУНТА

А. Ф. ЛИТВИНОВА

Львовский лесотехнический институт

Поперечные колебания несущего каната при внезапном приложении сосредоточенной силы и с учетом собственного веса описываются дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка. Это уравнение решается методом разделения переменных. Полученное уравнение движения точек несущего каната дает возможность перейти к решению задачи о динамических усилиях, возникающих в канатной оснастке установки в момент удара груза о каретку.

Механизация внутрилесосечного транспорта в труднодоступных горных районах и временный характер работ на лесосеках требуют создания легких, быстро монтируемых, экономически выгодных и надежных в эксплуатации механизмов, способных доставлять древесину к магистральным дорогам. Таким требованиям лучше всего отвечают временные подвесные лесотранспортные установки, основными рабочими элементами которых являются несущий и тяговый канаты. Работоспособность и экономическая эффективность этих установок, в первую очередь, зависят от надежности канатной оснастки.

В связи с этим при проектировании подвесных лесотранспортных установок важно иметь полное представление о всех факторах, существенно влияющих на износ и разрушение канатов.

Как показали экспериментальные исследования [1], проведенные в производственных условиях, для несущих канатов основными нагруз-

ками являются статические (наибольший динамический коэффициент составлял 1,1), а для тяговых канатов при всех режимах работы — динамические.

Изменение усилия в тяговом канате вызывает колебания несущего каната [3]. Выявление наиболее опасных моментов в совместной работе несущего и тягового канатов и максимальных нагрузок, возникающих при встрече груза с грузовой кареткой, представляет ключевую задачу для проверки механической надежности всей канатной системы.

Наибольшее усилие в тяговом канате, отмеченное на всех полученных осциллограммах [1, 2], наблюдалось в момент прицепки груза к каретке и стопорения. Величина динамического коэффициента при этом достигала 1,8—2,4.

Для оценки динамического импульса, возникающего в тяговом канате при стопорении груза, необходимо было исследовать характер движения соударяющихся тел — груза и каретки. Характер движения каретки в этих условиях определяется колебаниями несущего каната.

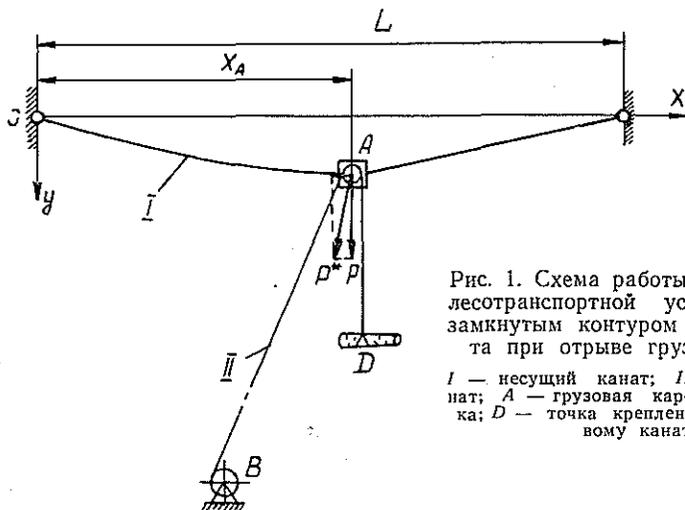


Рис. 1. Схема работы однопролетной лесотранспортной установки с незамкнутым контуром тягового каната при отрыве груза от грунта.

I — несущий канат; II — тяговой канат; A — грузовая каретка; B — лебедка; D — точка крепления груза к тяговому канату.

Колебательный процесс начинается с момента отрыва груза от грунта (рис. 1). Возбуждающим импульсом является усилие  $P^*$ , передаваемое на несущий канат двумя ветвями тягового каната через блок грузовой каретки. Представив равнодействующую натяжения двух ветвей тягового каната II двумя составляющими (вертикальной и по касательной к линии несущего), мы будем иметь два вида колебаний — поперечные и продольные.

На основании результатов экспериментальных исследований, проведенных на действующих установках в Карпатах, было замечено, что продольные колебания несущего каната незначительны и их влияние на динамику упругой системы (тяговой — несущий канаты) несущественно. Это позволяет с достаточной для практики точностью при исследовании совместной работы тягового и несущего канатов рассматривать только поперечные колебания последнего. Решению такой задачи и посвящена данная работа.

Дифференциальное уравнение поперечных колебаний несущего каната  $l$  при внезапном приложении силы  $P$  в точке  $x = x_A$  имеет следующий вид:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{g}{q} \frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial y}{\partial x} \right) = g + \frac{g}{q} P \delta(x - x_A) \quad (1)$$

с заданными граничными и начальными условиями

$$\left. \begin{aligned} y(0; t) = y(L; t) = 0; \\ y(x; t) = y_0(x); \frac{\partial y}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

здесь  $y(x; t)$  — вертикальные перемещения точек несущего каната;

$T$  — натяжение несущего каната;

$L$  — длина пролета;

$q$  — погонный вес несущего каната;

$g$  — ускорение свободного падения;

$t$  — переменная времени;

$P$  — вертикальная составляющая усилия, передаваемого тяговым канатом несущему (с учетом веса каретки) после отрыва груза от грунта;

$\delta(x - x_A)$  — дельта-функция, определяемая следующими соотношениями:

$$\delta(x - x_A) = \begin{cases} 0 & x < x_A; \\ \frac{1}{\Delta x} & x_A \leq x \leq x_A + \Delta x; \\ 0 & x > x_A + \Delta x. \end{cases}$$

Представим правую часть уравнения (1) в виде разложения в ряд Фурье

$$g + \frac{g}{q} P \delta(x - x_A) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k \sin \frac{k\pi x}{L}, \quad (3)$$

$$k = 1, 2, 3 \dots$$

где  $c_k$  — коэффициент разложения в ряд Фурье, определяемый по формуле

$$c_k = \frac{2}{L} \int_0^L \left[ g + \frac{g}{q} P \delta(x - x_A) \right] \sin \frac{k\pi x}{L} dx. \quad (4)$$

Проинтегрировав выражение (4), получим

$$c_k = \frac{4g}{k\pi} n_k + \frac{2g}{Lq} P \sin \frac{k\pi x_A}{L}, \quad (5)$$

где через  $n_k$  обозначено

$$n_k = \begin{cases} 0 & \text{для } k \text{ четных;} \\ 1 & \text{для } k \text{ нечетных.} \end{cases}$$

Принимая во внимание разложение правой части уравнения (1) в ряд Фурье, решаем его так:

$$y(x; t) = \sum_{k=1}^{\infty} y_k(t) \sin \frac{k\pi x}{L}. \quad (6)$$

Подставляя решение (6) и выражение (3) в уравнение (1), получим бесконечную систему обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка вида

$$\ddot{y}_k + a_k^2 y_k = c_k, \quad (7)$$

где

$$a_k^2 = \frac{Tg}{q} \left( \frac{k\pi}{L} \right)^2.$$

Общее решение уравнения (7):

$$y_k(t) = A_k \cos a_k t + B_k \sin a_k t + y_k^*. \quad (8)$$

Неизвестные коэффициенты  $A_k$  и  $B_k$  определяются из начальных условий (2)

$$A_k = \frac{2PL}{T(k\pi)^2} \sin \frac{k\pi x_A}{L}; \quad B_k = 0. \quad (9)$$

Частное решение  $y_k^*$  уравнения (7) может быть представлено следующим образом:

$$y_k^* = \frac{2PL}{T(k\pi)^2} \sin \frac{k\pi x_A}{L} + \frac{4gL^2}{T(k\pi)^3} n_k. \quad (10)$$

Подставляя выражения (8)–(10) в формулу (6), получим вертикальные перемещения точек несущего каната при внезапном приложении силы  $P$

$$y(x; t) = \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \frac{4qL^2 n_k}{T(k\pi)^3} + \frac{2PL}{T\pi^2} \frac{\sin \frac{k\pi x_A}{L}}{k^2} (1 - \cos a_k t) \right\} \sin \frac{k\pi x}{L}. \quad (11)$$

Пренебрегая в полученном уравнении (11) слагаемыми, имеющими порядок малости выше  $\frac{1}{k^3}$ , получим более упрощенное решение задачи

$$y(x; t) = \frac{4qL^2}{T\pi^3} \sin \frac{\pi x}{L} + \frac{2PL}{T\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x_A}{L}}{k^2} (1 - \cos a_k t) \sin \frac{k\pi x}{L}. \quad (12)$$

Уравнение (12) определяет характер колебаний несущего каната под действием усилий в тяговом в период подъема груза к каретке. Оно является основополагающим для перехода к задаче о соударении поднимающегося груза с кареткой и выявления максимального динамического эффекта, определяющего работоспособность тягового каната.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Белая Н. М. Исследование динамики незамкнутых тяговых канатов подвесных лесотранспортных установок. — В сб.: Стальные канаты. Вып. 4. Киев, «Техника», 1967. [2]. Белая Н. М. Исследование работы подвесных лесотранспортных установок и перспективы их развития и совершенствования. — В сб.: Проблемы комплексных лесных предприятий в Карпатах. Ужгород, «Карпаты», 1969. [3]. Белая Н. М., Литвинова А. Ф. Поперечные колебания несущего каната при подтягивании груза

со стороны к трассе подвесной лесотранспортной установки. — В сб.: Лесное хозяйство, бумажная и деревообрабатывающая промышленность. Вып. 7, 1976.

Поступила 1 ноября 1976 г.

УДК 532.3

## ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ ПЛАВАЮЩЕГО ПУЧКА БРЕВЕН ПРИ ЕГО УДАРЕ О СООРУЖЕНИЕ \*

Г. Я. СУРОВ

Архангельский лесотехнический институт

Приводятся результаты экспериментального исследования присоединенных масс плавающего пучка бревен при ударе его о сооружение.

Как известно, при ударе тела в жидкости, кроме инерции самого тела, следует учитывать инерцию окружающей жидкости, которую принято выражать через присоединенную массу [4]. Она зависит от геометрических размеров и формы погруженной в жидкость части тела, направления движения, глубины, частоты колебаний тела, скорости движения, плотности жидкости и ускорения силы тяжести. Учет влияния перечисленных факторов на величину присоединенной массы при теоретическом решении связан с большими математическими трудностями.

При исследовании прямого центрального удара плавающего пучка бревен боковой гранью о запорные стойки поточных линий по формированию плотов [1] нами была экспериментально определена величина присоединенной массы. Порядок проведения исследования изложен ранее [6]. В данной статье излагаются результаты обработки эксперимента. В основу исследований положен метод Пабста [4], сущность которого заключается в том, что присоединенная масса тела определяется по частотам колебаний его в воде и в воздухе. Для того чтобы исключить влияние деформации самого пучка на результаты исследования гидродинамического влияния жидкости на удар его о сооружение, опыты были проведены с «жесткими» пучками из модельных бревен. «Жестким» считаем пучок, у которого во время опыта бревна не перемещаются относительно друг друга.

Как показали экспериментальные исследования, сила сопротивления жидкости пропорциональна скорости колебания. Дифференциальное уравнение совместного движения пучка бревен и упругой системы, воспринимающей удар, имеет вид [7]

$$(m + m_0)\ddot{x} = -cx - k_1\dot{x}, \quad (1)$$

где  $m$  — действующая масса пучка бревен;  
 $m_0, c, x$  — соответственно приведенная масса, коэффициент жесткости и деформация упругой системы;  
 $k_1$  — коэффициент пропорциональности

$$k_1 = 2n(m + m_0), \quad (2)$$

здесь  $n$  — коэффициент затухания.

\* Работа выполнена под руководством проф. К. А. Чекалкина.

Расшифровка осциллограмм показала, что сила сопротивления жидкости мала по сравнению с восстанавливающей силой упругости, т. е. соблюдается условие

$$n < P, \quad (3)$$

где  $P$  — угловая частота колебания пучка и упругой системы при отсутствии сопротивления движению

$$P = \sqrt{\frac{c}{m + m_0}}. \quad (4)$$

При выполнении условия (3) и при постоянных коэффициентах в уравнении (1) за время совместного движения пучка и упругой системы, т. е. в интервале времени  $0 \leq t \leq \tau$ , решение (1) имеет вид [7]

$$x = \frac{v_1}{P_1} e^{-nt} \sin P_1 t, \quad (5)$$

где  $v_1$  — скорость, с которой начинается совместное движение пучка бревен и упругой системы,

$$v_1 = \frac{m}{m + m_0} v_0, \quad (6)$$

$v_0$  — скорость подхода пучка бревен к упругой системе;

$P_1$  — угловая частота совместного колебания пучка бревен и упругой системы при наличии сопротивления воды движению пучка

$$P_1 = \frac{\pi}{\tau}; \quad (7)$$

$\tau$  — полупериод совместного колебания пучка бревен и упругой системы.

Согласно [7],  $P$ ,  $P_1$ ,  $n$  связаны между собой следующим образом:

$$P^2 = P_1^2 + n^2. \quad (8)$$

Порядок проведения эксперимента и метод подсчета присоединенной массы сводился к следующему. Прежде всего определяли приведенную массу упругой системы. Для этого на осциллограмме регистрировали колебания упругой системы в воздухе, что позволяло определить полупериод этих колебаний  $\tau_0$  с точностью 0,0025 с. Подставляя  $\tau_0$  в выражение (7), определяли угловую частоту колебания упругой системы  $P_0$ . В то же время величина  $P_0$  равна

$$P_0 = \sqrt{\frac{c}{m_0}}. \quad (9)$$

Зная коэффициент жесткости упругой системы  $c$ , из выражения (9) определяли  $m_0$ .

В эксперименте при записи удара пучка о сооружение на осциллограмме регистрировались изменение деформации упругой системы по времени, отметки времени через 0,005 с и отметки пути через 2,5 см движения пучка при подходе к упругой системе. Обработка осциллограмм показала, что при смене направления движения пучка изменяются и величины  $m$  и  $k_1$  в уравнении (1). Поэтому весь процесс движения пучка разбиваем на две фазы: в интервале времени от нуля до  $t_1$  и от  $t_1$  до  $\tau$ . Значению  $t_1$  соответствует максимальная деформация упругой системы  $x_{max}$ . Величины, характеризующие первую фазу движения, в дальнейшем обозначены индексом «п», вторую — «в». Уравнение (1) рассматриваем отдельно как в интервале времени от нуля до  $t_1$ , так и в интервале от  $t_1$  до  $\tau$ . Взяв первую производную от выражения (5) и приравняв нулю, получим

$$n_p = \frac{P_{1п}}{\operatorname{tg} P_{1п} t_1}; \quad n_v = \frac{P_{1в}}{\operatorname{tg} [\pi - P_{1в} (\tau - t_1)]}. \quad (10)$$

Выразив коэффициенты  $n_n$  и  $n_b$  из уравнения (5), записанного соответственно для первой и второй фаз движения пучка, и приравняв соответствующим значениям (10), получим.

$$\left. \begin{aligned} \frac{P_{1n}t_1}{\operatorname{tg} P_{1n} t_1} + \ln \frac{x_{max}P_{1n}}{v_1 \sin P_{1n} t_1} &= 0; \\ \frac{\pi - P_{1b}(\tau - t_1)}{\operatorname{tg} [\pi - P_{1b}(\tau - t_1)]} + \ln \frac{x_{max}P_{1b}}{v_1 \sin [\pi - P_{1b}(\tau - t_1)]} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

При обработке осциллограмм получаем  $t_1$ ,  $\tau$ ,  $x_{max}$ ,  $v_0$ . Приняв в первом приближении  $v_1 = v_0$ , из выражений (11) методом итерации находим  $P_{1n}$  и  $P_{1b}$ , затем, используя (10), получаем  $n_n$  и  $n_b$ . Найдя из (8)  $P_n$  и  $P_b$ , определяем из выражения (4)  $m_n$  и  $m_b$ . Далее, подставив в уравнение (6)  $m_b$ , уточняем  $v_1$  и весь расчет по нахождению действующей массы в первую и во вторую фазы движения повторяем до нахождения их значения с точностью 0,001 кг.

Обозначив массу древесины пучка  $m_{др}$ , массу воды в пустотах пучка, участвующую в движении,  $m_{вод}$  и присоединенную массу  $\lambda$ , запишем выражения для определения действующей массы в первую и вторую фазы движения

$$\left. \begin{aligned} m_n &= m_{др} + m_{вод} + \lambda_n; \\ m_b &= m_{др} + m_{вод} + \lambda_b. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Первые два члена в данных выражениях составляют реальную массу пучка  $m_p$ , которая при поперечном движении за период  $0 \leq t \leq \tau$  равна [6]

$$m_p = \frac{m_{др}}{\eta}, \quad (13)$$

где  $\eta$  — коэффициент полндревесности пучка.

Присоединенную массу выражаем через коэффициенты присоединенной массы

$$\mu_n = \frac{\lambda_n}{m_p}; \quad \mu_b = \frac{\lambda_b}{m_p}. \quad (14)$$

При проведении эксперимента варьировали следующие величины: коэффициент жесткости в пересчете на натуру по закону подобия Фруда [6]  $c = 1,2 \cdot 10^5 - 4,0 \cdot 10^6$  Н/м; соотношение осей пучка 1,35—2,72; отношение ширины пучка к его длине 0,58—0,80. В опытах отсутствовало влияние дна (отношение глубины бассейна к осадке пучка составляло 4,0—7,0).

Обработка опытного материала показала, что коэффициенты  $\mu_n$  и  $\mu_b$  зависят не только от геометрических размеров и формы погруженной в жидкость части пучка, но и от жесткости сооружения, о которое происходит удар. Результаты обработки в пересчете на натуру представлены на рис. 1 в виде зависимостей  $\mu_n = f(P_n)$  и  $\mu_b = f(P_b)$ .

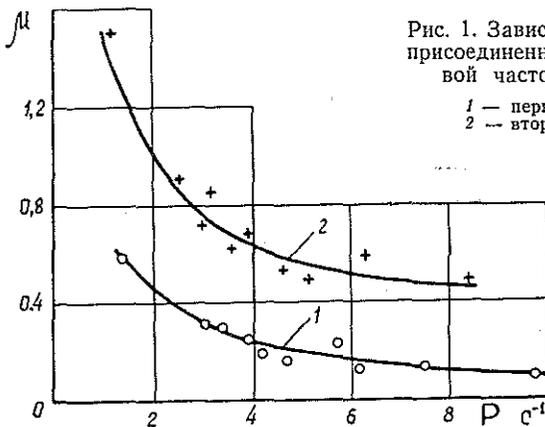


Рис. 1. Зависимости коэффициента присоединенных масс  $\mu$  от угловой частоты колебаний  $P$ .

1 — первая фаза удара;  
2 — вторая фаза удара.

Угловая частота колебания  $P$  является параметром, сочетающим величины, от которых зависят коэффициенты  $\mu_n$  и  $\mu_b$ .

Опыты показали, что с увеличением угловой частоты присоединенная масса уменьшается. Это вызвано тем, что на части погруженной боковой поверхности пучка бревен, расположенной со стороны контакта с сооружением, возможно образование зоны, в которой происходит отрыв жидкости от поверхности пучка. С увеличением этой зоны уменьшается величина присоединенной массы [4, 5]. Так как эта зона отрыва возрастает с ростом угловой частоты колебания, а размеры тела конечны, то с увеличением  $P$  закономерно стремление зависимостей  $\mu = f(P)$  к какому-то пределу (рис. 1).

Киносъемка некоторых опытов подтвердила положение о наличии зоны отрыва жидкости. Как видно из графика (рис. 1), коэффициент  $\mu_b$  больше  $\mu_n$ . Это закономерно, так как во второй фазе движения пучок меняет направление движения, в результате чего возрастает гидродинамическая сила воздействия со стороны жидкости на пучок.

Опытные кривые  $\mu = f(P)$  аппроксимированы уравнениями

$$\mu_n = 0,023 + \frac{0,805}{P_n}; \quad (15)$$

$$\mu_b = 0,310 + \frac{1,323}{P_b}. \quad (16)$$

Результаты обработки опытов хорошо согласуются с данными экспериментальных исследований других авторов [2, 3]. На рис. 1 каждая опытная точка есть результат обработки 5—7 серий опытов, отличающихся скоростью подхода пучка бревен к сооружению, так как эксперимент показал, что коэффициенты  $\mu_n$  и  $\mu_b$  практически не зависят от скорости подхода в диапазоне от 0 до 1,0 м/с для натуральных условий. Для проверки наличия масштабного эффекта при пересчете результатов на натуре исследования проводили в трех масштабах моделирования [6]. При этом получена хорошая сходимость результатов обработки, что позволяет сделать вывод об отсутствии масштабного эффекта.

При обработке опытного материала вычисляли безразмерные коэффициенты затухания

$$\bar{n}_n = \frac{n_n}{P_n}; \quad \bar{n}_b = \frac{n_b}{P_b}, \quad (17)$$

причем  $\bar{n}_n = 0$ , т. е. жидкость практически не оказывает сопротивления движению пучка в первой фазе движения, так как со стороны контакта пучка с упругой системой наблюдается зона отрыва жидкости от его поверхности. Коэффициент  $\bar{n}_b$  является постоянным и равен 0,102.

Кривая изменения деформации упругой системы, построенная по уравнению (5) для первой и второй фаз движения, полностью совпадает с опытной кривой движения при одинаковых исходных данных.

Выполненные исследования позволяют определить присоединенную массу плавающего пучка при ударе его о сооружение. Для этого, приняв в первом приближении  $m_n = m_b = m_p$  и зная  $m_0$  и  $c$ , находим из (4) угловую частоту колебания  $P$ , затем по графику (рис. 1) или из (15), (16) определяем  $\mu_n$  и  $\mu_b$ . Далее уточняем  $m_n$  и  $m_b$ . Расчет повторяем до получения коэффициентов  $\mu_n$  и  $\mu_b$  с необходимой точностью.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Апанасенко И. С. Механизированная поточная линия сортировки пучков и формирования плотов. — «Лесозэксплуатация и лесосплав». Реферативная информация, 1967, № 30, с. 13—16. (ЦНИИТЭлеспром). [2]. Балашов Б. В. и др. Экспериментальные исследования присоединенной массы и сопротивления воды для прямоугольного понтона. — «Труды координационных совещаний по гидротехнике». Л., «Энергия», 1971, вып. 66, с. 147—152. [3]. Кравчук Ю. Д., Марченко Д. В. О гидродинамических коэффициентах плавучих причалов. — «Труды координационных совещаний по гидротехнике», Л., «Энергия», 1969, вып. 50, с. 603—607. [4]. Рима И. С., Крепс Р. Л. Присоединенные массы тел различной формы — «Труды ЦАГИ», 1947, № 635, с. 47. [5]. Седов Л. И. Об ударе твердого тела, плавающего на поверхности несжимаемой жидкости. — «Труды ЦАГИ», 1934, № 187, с. 28. [6]. Суоров Г. Я. Исследование динамического взаимодействия плавающего пучка бревен с наплавными сооружениями. — Материалы к IV научно-технической конференции. Новое в технике и технологии лесосплава. Л., 1976, с. 78—79. [7]. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. М., 1959, с. 439.

Поступила 10 декабря 1976 г.

УДК 625.8 : 539.3

## О СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ КАСАТЕЛЬНЫХ И НОРМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК НА ПОКРЫТИЕ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Ф. А. ПАВЛОВ, С. И. МОРОЗОВ

СевНИИП, Архангельский лесотехнический институт

На основе теории упругости проанализировано напряженно-деформируемое состояние гравийной дорожной одежды при действии на ее поверхность касательных и нормальных нагрузок. Для рассмотренного случая касательные нагрузки задают величину касательных напряжений главным образом в верхнем слое толщиной 10 см; глубже их влияние практически не ощущается.

В зоне контакта колеса автомобиля с покрытием дороги, помимо нормальных, возникают и касательные нагрузки от крутящего и тормозного моментов, а также от боковых сил, действующих на автомобиль. Касательные нагрузки не учитываются существующими методами расчета дорожных одежд на прочность, хотя на поверхности могут приближаться к нагрузкам от веса автомобиля [2].

Касательные нагрузки при определенном значении снижают сцепление колеса с покрытием дороги и вызывают в слоях одежды деформации сдвига, которые относят к чисто пластическим. Такие деформации определяют процесс накопления осадок дорожной одежды и работоспособность дороги в целом.

Поэтому изучение совместного действия касательных и нормальных нагрузок на дорожную одежду имеет большое практическое значение.

Экспериментально эту работу выполнить очень трудно, так как необходимо определять одновременно все компоненты напряженно-деформируемого состояния дорожной одежды. Совместное действие касательных и нормальных нагрузок на покрытие дороги можно исследовать с помощью теории упругости, на основе которой в настоящее время построен практический метод расчета дорожных одежд [1].

Нами использовано решение теории упругости, предложенное Р. М. Раппопорт [4], согласно которому компоненты напряженного состояния слоистого основания могут быть записаны в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{zi} &= -P\beta \int_0^{\infty} F_1(\alpha, \eta, \nu_i, E_i) I_0(\alpha\rho) I_1(\alpha\beta) d\alpha; \\ \tau_{rzi} &= -t\beta \int_0^{\infty} F_2(\alpha, \eta, \nu_i, E_i) I_1(\alpha\rho) I_1(\alpha\beta) d\alpha; \\ \omega_i &= \frac{(1+\nu_i)\rho\beta H}{E_i} \int_0^{\infty} \frac{F_3(\alpha, \eta, \nu_i, E_i)}{\alpha} I_0(\alpha\rho) I_1(\alpha\beta) d\alpha, \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $\sigma_{zi}$ ,  $\tau_{rzi}$ ,  $\omega_i$  — соответственно сжимающие вертикальные, касательные напряжения и осадки в  $i$ -том слое;

$F_1, F_2, F_3$  — функции, зависящие от модуля деформации (упругости)  $E_i$ , коэффициента Пуассона  $\nu_i$ , места расположения слоя и безразмерного коэффициента  $\alpha$ ;

$I_0(\alpha\rho), I_1(\alpha\beta)$  — функции Бесселя первого рода соответственно нулевого и первого порядков.

$$\beta = \frac{b}{H}; \quad \eta = \frac{r}{H}; \quad \rho = \frac{z}{H},$$

здесь  $b$  — радиус отпечатка колеса;  
 $r, z$  — координаты.

Для отыскания функций  $F_1, F_2$  и  $F_3$  нагрузки на поверхности покрытия были представлены интегралами Фурье — Бесселя в виде

$$\left. \begin{aligned} -\frac{P\beta H^3}{\alpha^3} I_1(\alpha\beta) &— нормальная; \\ -\frac{t\beta H^3}{\alpha^3} I_2(\alpha\beta) &— касательная; \\ I_2(\alpha\beta) &— функция Бесселя \\ &первого рода второго порядка. \end{aligned} \right\} (2)$$

Используем зависимости (1) и (2) для расчета реальной гравийной дорожной одежды. Расчетная схема приведена на рис. 1. Нормальные нагрузки  $P$  и диаметр отпечатка  $2b$  соответствуют удельному давлению от заднего колеса автомобиля КраЗ-255Л с шиной модели ВИ-3. Касательные нагрузки  $t$  представлены нами в долях от нормальной, но не более  $1,51 \text{ кгс/см}^2$ .

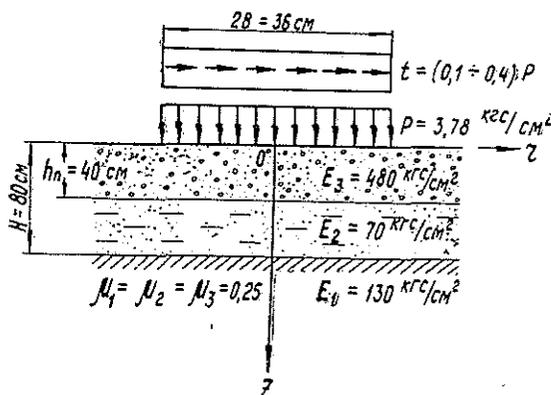


Рис. 1.

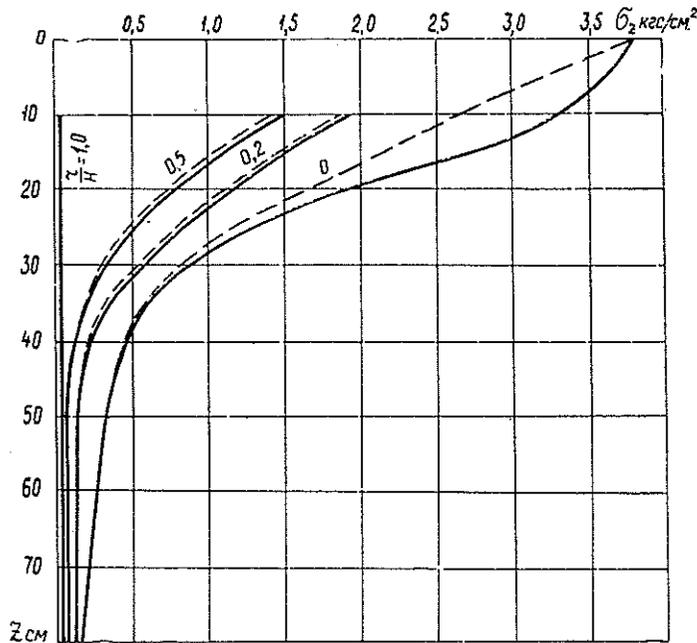


Рис. 2. Распределение вертикальных сжимающих напряжений.  
Штриховые линии — при касательной нагрузке на поверхности 1,51 кгс/см<sup>2</sup>; сплошные — то же без касательной нагрузки

Дорожная одежда ослаблена наличием под покрытием более слабой прослойки, например переувлажненного грунта [3].

Для решения реальной задачи составлены алгоритм и программа решения задачи на ЭВМ «Минск-22» и «Наири-С\*». Численным интегрированием зависимостей (1) получены значения основных компонентов напряженно-деформируемого состояния  $\sigma_{z_i}$ ,  $\tau_{rz_i}$  и  $\omega_i$  на различной глубине  $z$  от поверхности покрытия.

Результаты расчета приведены на рисунках, сопоставление которых позволяет установить, как изменяется напряженное состояние дорожной одежды, когда на поверхности появляются касательные нагрузки различной интенсивности.

Рассмотрим график распределения напряжений  $\sigma_{z_i}$  (рис. 2). До глубины 40 см при касательных нагрузках наблюдается некоторое снижение  $\sigma_{z_i}$ . Максимальное снижение (0,61 кгс/см<sup>2</sup>) наблюдается на глубине 10 см при максимальной касательной нагрузке 1,51 кгс/см<sup>2</sup>. Чем больше касательная нагрузка, тем заметнее снижение вертикальных напряжений под центром отпечатка. При удалении от центра отпечатка касательные нагрузки практически не влияют на величину  $\sigma_{z_i}$  по всей глубине (на рис. 2 показано пунктиром).

Касательные нагрузки влияют на величину касательных напряжений главным образом в верхнем слое покрытия (до 10 см; рис. 3), по-

\* В составлении программы принимала участие инж. Н. Н. Чернакова.

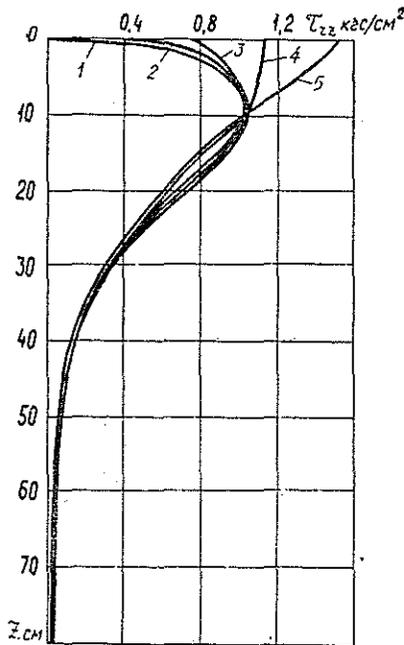


Рис. 3. Распределение  $\tau_{rz}$  при различной величине касательной нагрузки на поверхности.

1 —  $\tau_{rz} = 0$ ; 2 — 0,4; 3 — 0,75; 4 — 1,1;  
5 — 1,5 кгс/см<sup>2</sup>.

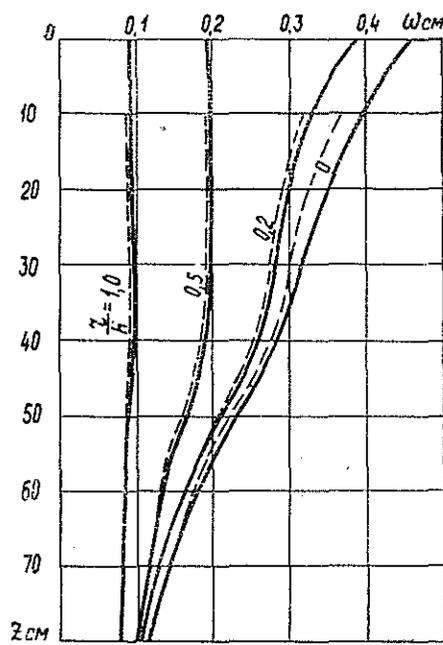


Рис. 5. Осадки в дорожной одежде на различных уровнях.

Штриховые линии — при касательной нагрузке на поверхности 1,51 кгс/см<sup>2</sup>; сплошные — то же без касательной нагрузки.

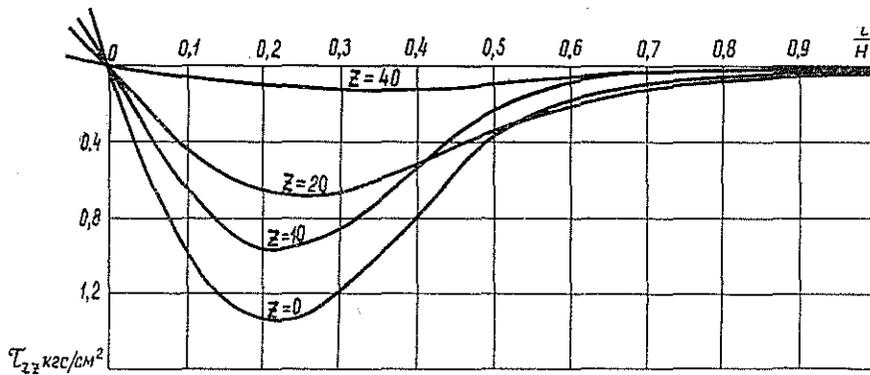


Рис. 4.

этому толщину покрытия (слой износа) необходимо проектировать с их учетом. Максимальные касательные напряжения возникают в верхнем слое на расстоянии, равном  $(0,1-0,3) \frac{r}{H}$  от центра отпечатка (рис. 4).

На глубине более 10 см касательные напряжения возникают прежде всего от действия вертикальных нагрузок. В нашем примере на поверхности контакта с земляным полотном (глубина 40 см) касательные

напряжения распределяются сравнительно равномерно, а не концентрируются в указанной выше зоне.

В пределах равновесия дорожной одежды касательные нагрузки практически не сказываются на упругих осадках, но возможны сдвиги в направлении оси  $r$ . О незначительном влиянии  $\tau_{rz_i}$  на величину  $\phi_i$  говорит график на рис. 5.

Таким образом, уравнения (1) позволяют определить величину основных компонентов напряженно-деформируемого состояния дорожной одежды.

Более точный учет всех нагрузок на покрытие дороги позволяет создавать прочные дорожные одежды. Кроме того, нами рассмотрено действие касательных и нормальных нагрузок конкретно на заданную конструкцию одежды от колеса автомобиля КраЗ-255Л. Эти данные будут также представлять определенный интерес для тех, кто занимается проектированием дорог и специальных лесовозных автопоездов.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46—72. М., «Транспорт», 1973. [2]. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. Под ред. Н. Н. Иванова. М., «Транспорт», 1973. [3]. Павлов Ф. А., Чернова Н. Н. О воздействии колес автомобилей на дорожную одежду. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 1. [4]. Раппопорт Р. М. Задача Буссинеска для слоистого упругого полупространства. — «Труды ЛПИ», 1948, № 5.

Поступила 21 апреля 1976 г.

УДК 621.226.(04)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю. И. БАГИН

Уральский лесотехнический институт

Проведены теоретические исследования, установившие взаимосвязь параметров манжетного уплотнения из полимерного материала с величиной усилия поджатия. Испытанные в лабораторных и производственных условиях образцы уплотнений из полиамидной смолы П-610Л показали высокие эксплуатационные качества.

Широкое применение гидрообъемного привода для рабочих органов машин лесной промышленности выдвигает задачу по созданию надежных уплотнений.

Проведенный анализ показал, что для уплотнения штоков и поршней в 25% случаев применяются кольца круглого сечения, в 12% — кольца других форм, в 17% — шевронные манжеты, в 38% — U-образные манжеты и в 8% — чашечные. Эти данные совпадают с исследованиями Ю. К. Жулева [3], В. Эрнста [6], Б. А. Гавриленко [2].

Как показывает опыт эксплуатации лесозаготовительных машин, уплотнения из резины, особенно при низких температурах, быстро выходят из строя.

Появление новых материалов, таких как полиамид 610Л, П-12Л, полиуретан и других, обладающих низкими коэффициентами трения, стойкостью к кислотам и щелочам, малым водопоглощением, широким рабочим диапазоном температур ( $-60 + 100^\circ\text{C}$ ), хорошими литьевыми

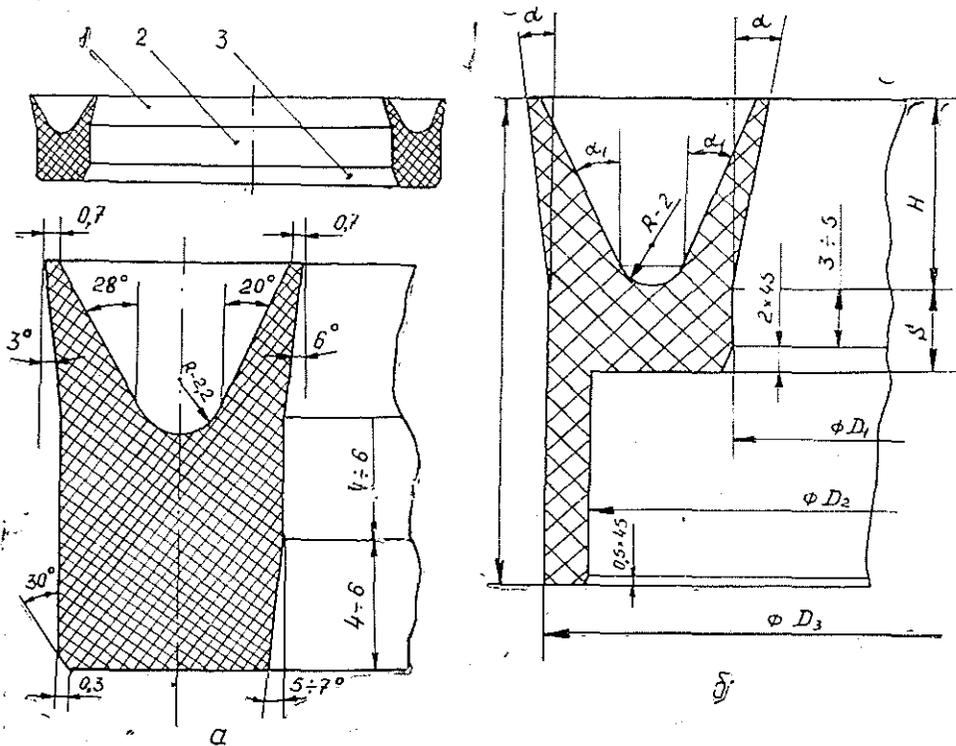


Рис. 1. Конструкция манжеты (а) и чехол-манжеты (б) из полимерного материала.

качествами и возможностью введения в них присадок, позволяет использовать их для уплотнений.

Принятые нами конструкции уплотнения (рис. 1) могут обеспечить как постоянное удельное давление по образующей, так и изменение его по определенному закону. Изменение давления в этом случае будет зависеть от параметров манжеты и первоначальной линии изгиба.

Для равномерного износа уплотнительного элемента необходимо, чтобы величина удельного давления  $q$  от сил упругости, материала или расширителя была бы постоянной по высоте, обеспечивая уплотнение при отсутствии давления в цилиндре и наименьшие потери при перемещении.

Поджатие манжеты к поверхности штока или зеркалу цилиндра осуществляется путем ее деформации при установке в цилиндр [1, 4—5]. Рассмотрим отдельное элементарное кольцо простой манжеты (рис. 2), которое подвержено деформации равномерно распределенными по окружности силами, все его точки имеют одинаковое смещение. Вырежем из элементарного кольца элемент  $abcd$  толщиной  $dH$  и шириной  $b$ . К граням  $ab$  и  $cd$  приложены силы упругости  $T_1$  и  $T_2$ , которые равны между собой. Точки кольца при его сжатии смещаются в радиальном направлении на величину  $z$  ( $z_{max} = R_k - R_y$ ).

Относительная деформация

$$\frac{z}{R_{cp} + z},$$

где  $R_{cp}$  — средний радиус кольца.

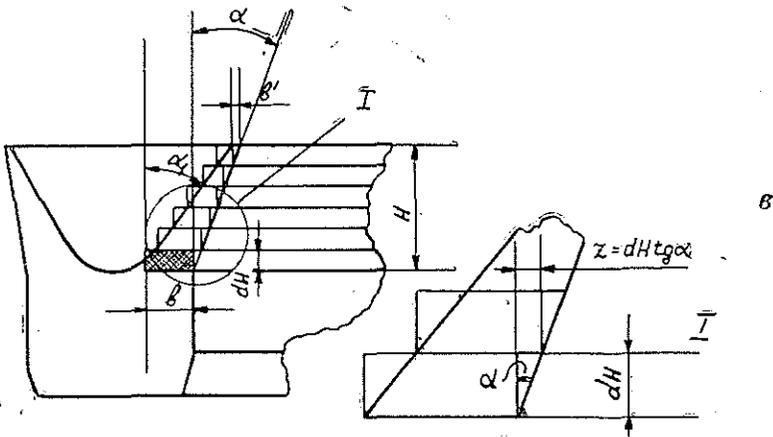
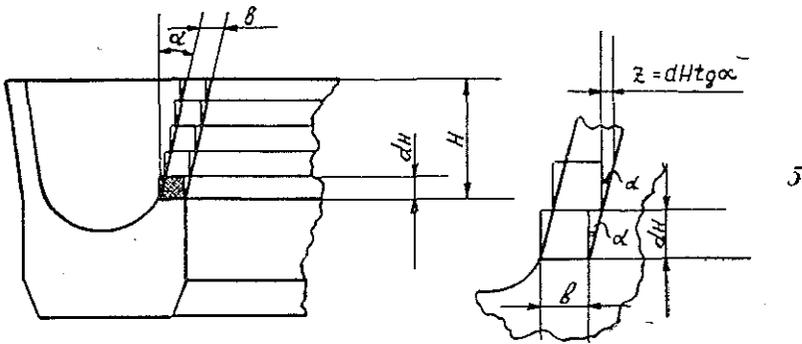
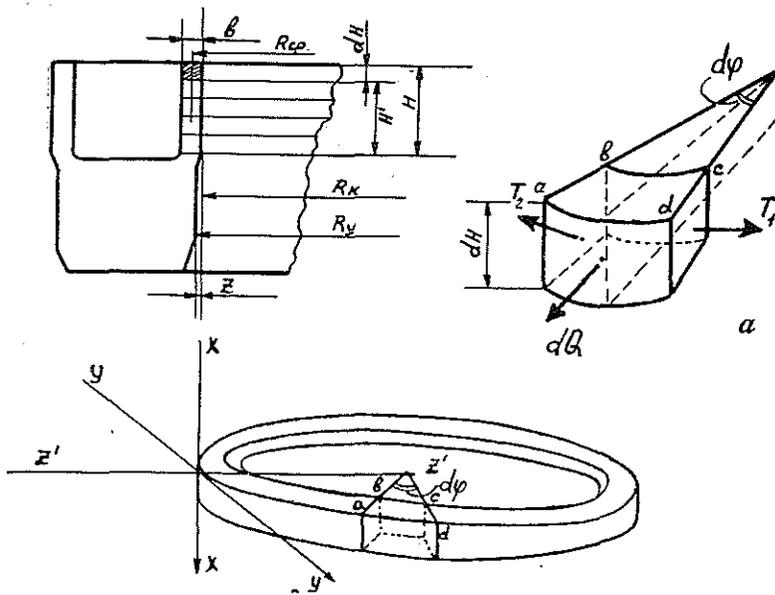


Рис. 2. Расчетные схемы манжет из полимерного материала.

Значения  $z$  для всех точек кольца можно принять одинаковыми из-за его небольшой толщины. Напряжение, вызванное силами упругости, определится как

$$\sigma_y = \frac{Ez}{R_{cp} + z}. \quad (1)$$

Соответственно силы упругости

$$T_1 = T_2 = \frac{Ezb}{R_{cp} + z} dH, \quad (2)$$

где  $E$  — модуль упругости.

В результате действия сил упругости появится прижимающая кольцо к стенке радиальная сила, величину которой можно определить из уравнения (рис. 2)

$$dQ = -T_1 \sin \frac{d\varphi}{2} - T_2 \sin \frac{d\varphi}{2}. \quad (3)$$

Примем  $\sin \frac{d\varphi}{2} \approx \frac{d\varphi}{2}$  и подставим  $T_1$  и  $T_2$  по уравнению (1)

$$dQ = -\frac{Ezbd\varphi dH}{R_{cp} + z}. \quad (4)$$

При интегрировании определим значение радиальной силы, действующей на цилиндр или шток от элементарного кольца (принимая значение  $dH = \text{const}$ )

$$Q' = \int_0^{2\pi} dQ = \int_0^{2\pi} -\frac{EzbdHd\varphi}{R_{cp} + z} = -\frac{2EzbdH}{R_{cp} + z}. \quad (5)$$

Рассмотрим работу манжеты, конструктивно выполненной по схеме, приведенной на рис. 2, а. Диаметр манжеты  $D_m$  отличается от диаметра цилиндра  $D_n$  на величину  $2(z - \Delta)$ , где  $\Delta$  — величина зазора между цилиндром и поршнем. Пользуясь уравнением (5), можно определить усилие, с которым манжета будет воздействовать на стенки цилиндра после ее установки,

$$Q_n = -\frac{2Eb\pi(z - \Delta)H}{R_{cp} + (z - \Delta)}. \quad (6)$$

Усилие, необходимое для перемещения поршня,

$$P_n = Qf.$$

Увеличение толщины манжеты  $b$ , ее высоты  $H$  и величины деформации  $z$  ведет к возрастанию усилия  $P_n$ .

Рассмотрим второй вариант конструкции (рис. 2, б). Рабочая поверхность манжеты — коническая с углом наклона  $\alpha$ . При вдвигании поршня в цилиндр или надевании манжеты на шток под усилием  $P'_n$  манжета деформируется. Для анализа примем, что толщина манжеты  $b$  по высоте постоянна. Разрежем манжету по высоте на  $n$  элементарных колец толщиной  $dH$ . Диаметр каждого последующего элементарного кольца, при условии, что у манжеты принята постоянная площадь сечения и ее конфигурация, будет отличаться от предыдущего на величину  $2z = 2dH \operatorname{tg} \alpha$ .

Величина  $R_{cp}$  при деформации определится для последующего элементарного кольца как

$$R'_{cp} = R_{cp} + z,$$

а величина деформации будет соответственно

$$z' = 2dH \operatorname{tg} \alpha.$$

У следующего кольца будет

$$R''_{cp} = R_{cp} + 2dH \operatorname{tg} \alpha;$$

$$z'' = 3dH \operatorname{tg} \alpha \text{ и т. д.}$$

Усилие, необходимое для деформации первого элементарного кольца, определится по уравнению (5) для деформации следующего элементарного кольца

$$Q'' = - \frac{2E(z+z)b\pi dH}{R'_{cp} + (z+z)}.$$

У последующих элементарных колец величина  $z$  и  $R_{cp}$  в уравнении будет дополнительно увеличиваться каждый раз на

$$z = dH \operatorname{tg} \alpha.$$

Зависимость  $H = f(Q)$  с достаточной точностью можно считать прямолинейной, поэтому при постоянном угле наклона усилие возрастает пропорционально нарастанию высоты манжеты.

Увеличение угла наклона приведет к возрастанию усилия поджатия, которое у верхней кромки манжеты будет максимальным.

Такое изменение усилия приводит к тому, что верхняя часть манжеты будет иметь наибольший износ. Необходимо, чтобы усилие от деформации каждого элементарного кольца было одинаковым, а это возможно, когда площадь сечения у них различна (рис. 2, б).

Радиальная составляющая для каждого элементарного кольца определяется по уравнению (5). Для того чтобы иметь одинаковые радиальные составляющие  $Q$  при равных толщинах элементарных колец  $dH$  и разных диаметрах, необходимо, чтобы кольца имели разную ширину  $b$ , т. е.

$$Q = - \frac{2Ez\pi b dH}{R_{cp} + z} = - \frac{2E(z+z)b_1 dH}{R'_{cp} + 2z} = - \frac{2E(3z)b_2 \pi dH}{R''_{cp} + 3z} = \dots$$

Для определения суммарной равнодействующей необходимо проинтегрировать в пределах от 0 до  $H$  лишь одно из этих выражений

$$Q_{\Sigma} = \int_0^H - \frac{2Ez\pi dH}{R_{cp} + z} = - \frac{2Ez\pi H}{R_{cp} + z},$$

где  $b$  — ширина манжеты у основания.

Изменение ширины  $b$  от высоты  $H$  будет близко к прямолинейному закону.

Нами установлены зависимости между усилием поджатия и параметрами манжет из полимерных материалов разных конструктивных форм.

Из полиамидной смолы П-610Л для сравнительных испытаний были изготовлены шевронные манжеты, нормаль МН-5652—65 МН-5655—65 и манжетные уплотнения, показанные на рис. 1. При испытаниях манжеты проверяли на герметичность (для температуры масла (ДП-11) 50—80°C, при рабочем давлении 20—180 кгс/см<sup>2</sup>) и определяли потери на трение при холостом перемещении штока. Каждый цилиндр испы-

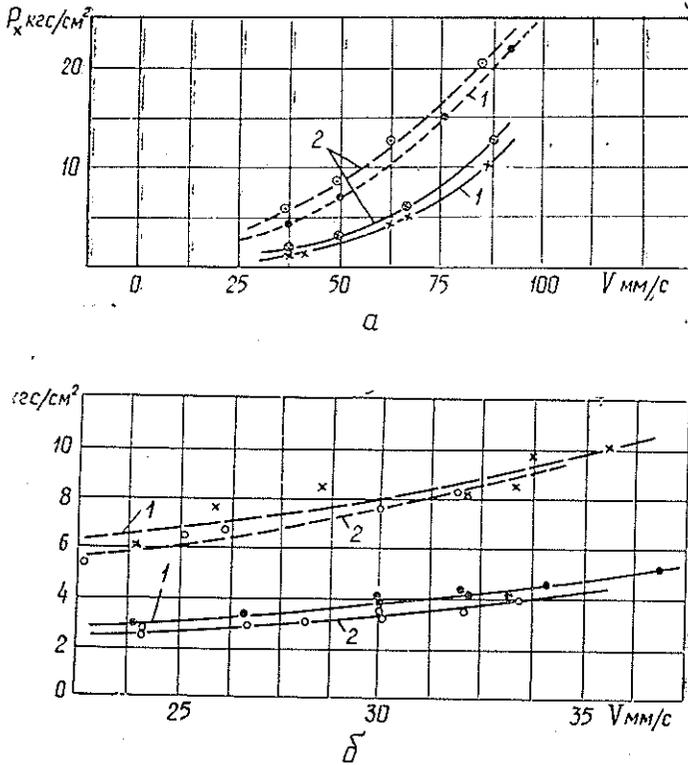


Рис. 3. График зависимости потерь давления на перемещения штока от скорости.

$a$  — в цилиндре 18-26 СБ 270; штриховая линия — на втягивании; сплошная — на выталкивании; 1 — манжета шевронная полиамидная; 2 — стандартная; б — в цилиндре Ц-125.250.160.001; штриховая линия — на втягивании; сплошная — на выталкивании; 1 — уплотнение — резиновые кольца; 2 — манжета из П-610Л. Масло дизельное ДП-11,  $t_M = 50 \pm 5^\circ\text{C}$ .

тывали со стандартными и новыми уплотнениями. Для испытания были выбраны цилиндр 18-26-СБ270, который установлен на бульдозере, имеет по штоку резино-тканевые шевронные уплотнения, и цилиндр Ц-125.250.160.001 (трактор ТДТ-55) с резиновыми кольцами круглого сечения.

Результаты испытаний на герметичность при указанных выше режимах показали, что манжеты обеспечивают надежное уплотнение, течи не наблюдалось.

На рис. 3 приведены графики сравнительных испытаний на холодное перемещение штока. Замена стандартного шевронного резино-тканевого уплотнения полиамидной манжетой обеспечивает снижение потерь на трение. Замена резиновых колец у цилиндра Ц-125.250.160.001 полиамидной U-образной манжетой к снижению потерь не привела.

Сравнительные испытания уплотнений поршней гидроцилиндров, выполненных из резины и полимерных материалов, проведенные в 1975—1976 гг. в производственных условиях на лесозаготовительных машинах сотрудниками кафедры тяговых машин УЛТИ и лаборатории надежности СНПЛО Ю. И. Багиным, Ш. М. Гохманом, А. М. Новико-

вым, Е. Д. Лурье, В. А. Щербаковым, показали, что срок службы уплотнений значительно повышается, к тому же изготовленные из полимерного материала типа чехол-манжета выполняют одновременно и функцию рабочей поверхности поршня. При рабочих давлениях свыше  $150 \text{ кгс/см}^2$  в конструкцию уплотнения необходимо вводить расширители

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Власов В. З. Общая теория оболочек и ее применение в технике. М., Гостехиздат, 1949. [2]. Гавриленко Б. А. и др. Гидравлический привод. М., «Машиностроение», 1968. [3]. Жулев Ю. К., Тябликов Ю. Е. Долговечность уплотнений в гидроцилиндрах. — «Вестник машиностроения», 1966, № 11. [4]. Лурье Л. И. Статика тонкостенных упругих оболочек. М., Гостехиздат, 1947. [5]. Пономарев К. К. Деформация упругих цилиндрических оболочек. М., ВЗИПП, 1958. [6]. Эрнст В. Гидропривод и его промышленное применение. М., «Машиностроение», 1963.

Поступила 14 февраля 1977 г.

УДК 531.1 : 634.0.323.1

### АНАЛИЗ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВАЛОЧНО- ПАКЕТИРУЮЩАЯ МАШИНА — ДЕРЕВО

А. В. ЖУКОВ

Белорусский технологический институт

Рассмотрен общий случай валки деревьев на систему с любым числом упругих опор. С помощью полученных аналитических выражений проанализировано влияние параметров системы на вертикальные скорости упругих опор.

Процесс пакетирования деревьев обычно разделяют на два этапа [3]. При гравитационном формировании пачки понятие этапов следует несколько расширить.

Первый этап — сталкивание дерева в заданном направлении за счет постепенного приложения нагрузки или ударно-импульсным способом, характерным для машин как дискретного, так и непрерывного действия. В начале первого этапа [2] появляется возмущение, являющееся следствием срабатывания механизма направленной валки.

Второй этап — удар о первую приемную балку — включает послеударные свободные колебания системы, которые являются следствием процесса пакетирования и могут оказать существенное влияние на динамику системы.

Принципиально возможно применение ВПМ с числом опор более двух. Поэтому рассмотрим случай валки дерева из вертикального положения на систему, имеющую  $n + 1$  приемных устройств.

Считаем, что опорные балки  $1 \dots n$  установлены на машине. Последний удар дерева осуществляется о  $(n + 1)$ -ю опору (прицеп) или кроной о землю. Для соударений до  $n$ -го включительно соблюдается условие [1] (рис. 1).

$$l_{x(n+1)n} < \frac{I_c + m_d l_{x(n-1)n}^2}{m_d l_{x(n-1)n}}, \quad (1)$$

т. е. к моменту удара о последующую опору дерево отрывается от предыдущей.

При определении кинематических характеристик пренебрегаем действием механизма направленного повала и поступательным движением системы, а также влиянием кроны.

На подрессоренные приемные балки машины, помимо ударных, действуют также импульсы упругих сил пружин. Но поскольку период колебаний приемной балки значительно больше времени удара  $\tau$ , в соответствии с исследованиями [1, 3], импульс упругих сил за время удара считаем незначительным по сравнению с ударным. Предполагая, что удар неупругий и что при мгновенном соударении дерева и балки количество движения системы не изменяется для соударений дерева с приемным устройством базовой машины (от 1-го до  $n$ -го), запишем

$$\left. \begin{aligned} m_d (V'_{c1} - V_{c1}) &= -S_1; \\ I_c (\omega_{11} - \omega_{01}) &= L_{x11} S_1; \\ M_{61} V_1 &= S_1 \sin \beta_1; \\ \dots & \\ m_d (V'_{cn} - V_{cn}) &= -S_n; \\ I_c (\omega_{1n} - \omega_{0n}) &= L_{xnn} S_n; \\ M_{6n} V_n &= S_n \sin \beta_n, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $m_d, I_c$  — масса и центральный момент инерции дерева;  
 $V_{c1} \dots V_{cn}$  — линейные скорости центра масс дерева до удара по опоре 1... $n$ ;  
 $V'_{c1} \dots V'_{cn}$  — линейные скорости центра масс дерева после удара по опоре 1... $n$ ;  
 $\omega_{01} \dots \omega_{0n}$  — угловые скорости дерева при ударе по опоре 1... $n$ ;  
 $\omega_{11} \dots \omega_{1n}$  — угловые скорости дерева после удара по опоре 1... $n$ ;  
 $V_1 \dots V_n$  — скорости вертикальных перемещений опор 1... $n$  при ударах;  
 $S_1 \dots S_n$  — ударные импульсы на опорах 1... $n$ ;  
 $L_{x11} \dots L_{xnn}$  — расстояния от опоры 1... $n$  до центра тяжести дерева;  
 $\beta_1 \dots \beta_n$  — углы между вертикалью и осью дерева в момент встречи его с опорами 1... $n$ ;  
 $M_{61} \dots M_{6n}$  — массы балок 1... $n$ .

Рассматривая  $n$ -е соударение дерева, можно записать

$$V_{cn} = \omega_{0n} L_{x(n-1)n}; \quad V'_{cn} = V_{n(u)} + \omega_{1n} L_{xnn}, \quad (3)$$

здесь  $V_{n(u)} = \frac{1}{\sin \beta_n} V_n$  — проекция вертикальной скорости на ось  $u$ ;  
 $L_{x(n-1)n}$  — расстояние от опоры  $n-1$  до центра тяжести дерева.

Сложив после некоторых преобразований первые два уравнения системы (2), для  $n$ -го соударения, с учетом соотношений (3), получим

$$m_d \left( \frac{V_n}{\sin \beta_n} + \omega_{1n} L_{xnn} - \omega_{0n} L_{x(n-1)n} \right) + \frac{I_c}{L_{xnn}} (\omega_{1n} - \omega_{0n}) = 0. \quad (4)$$

Аналогичным образом из первого и третьего уравнений

$$m_d \left( \frac{V_n}{\sin \beta_n} + \omega_{1n} L_{xnn} - \omega_{0n} L_{x(n-1)n} \right) + \frac{M_{6n}}{\sin \beta_n} V_n = 0. \quad (5)$$

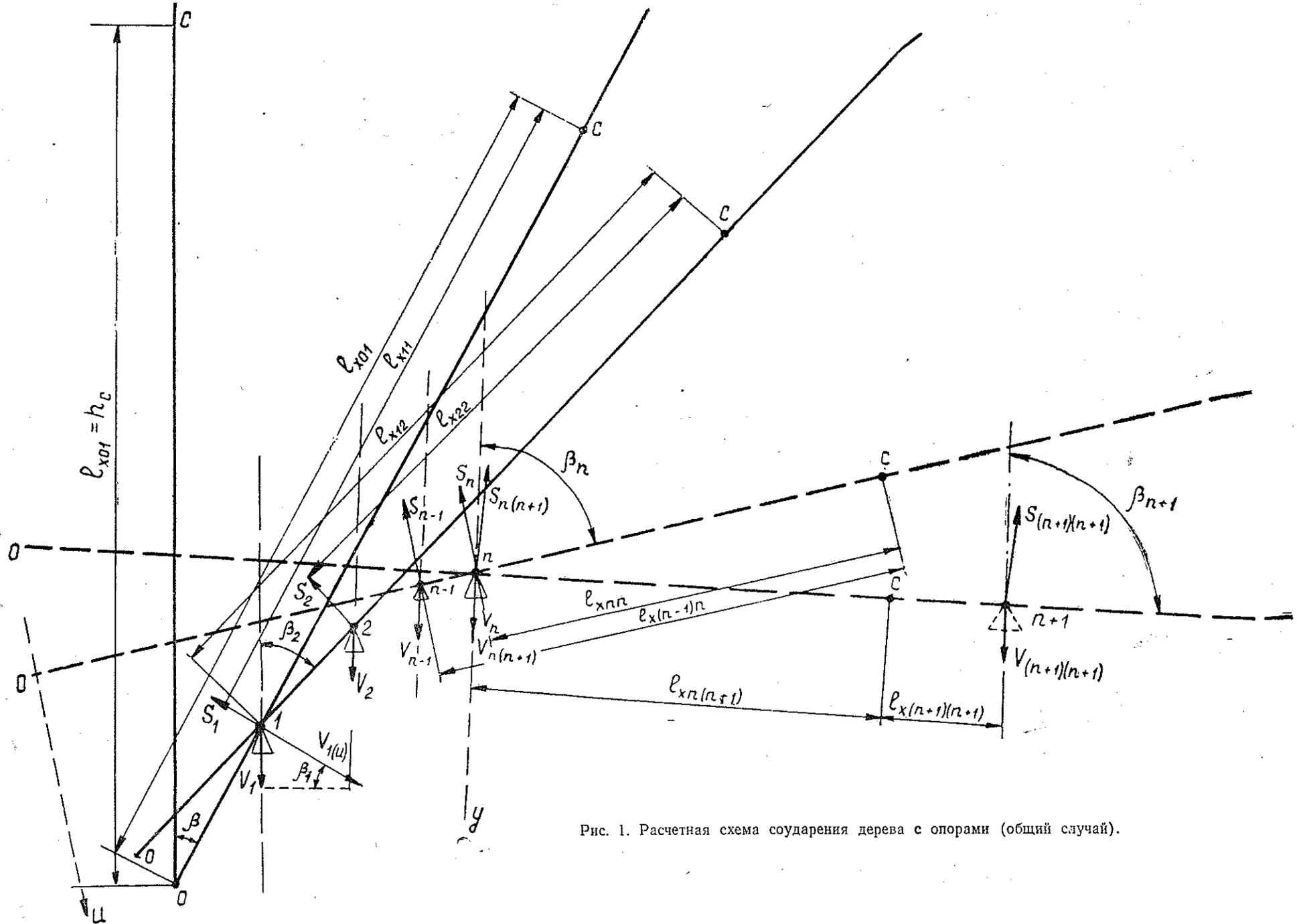


Рис. 1. Расчетная схема соударения дерева с опорами (общий случай).

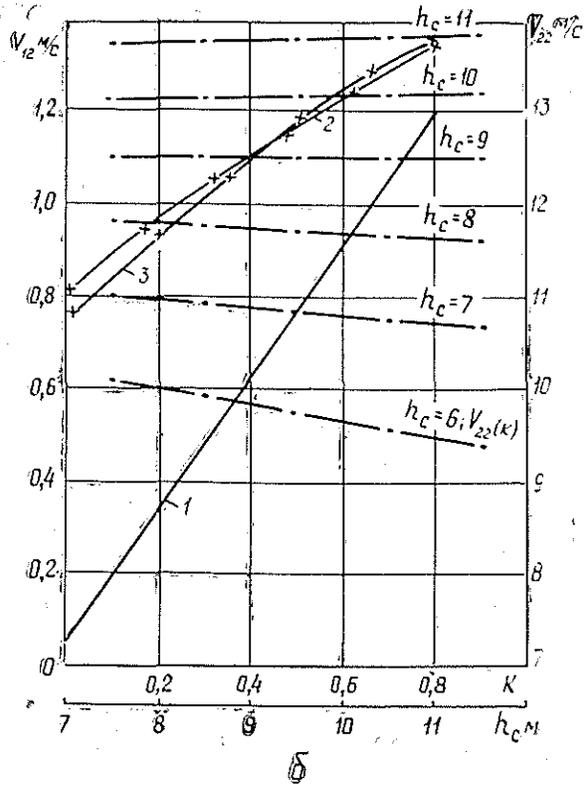
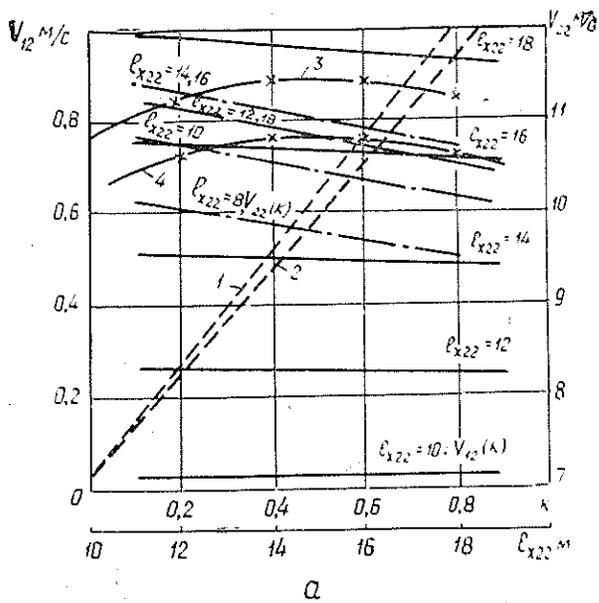
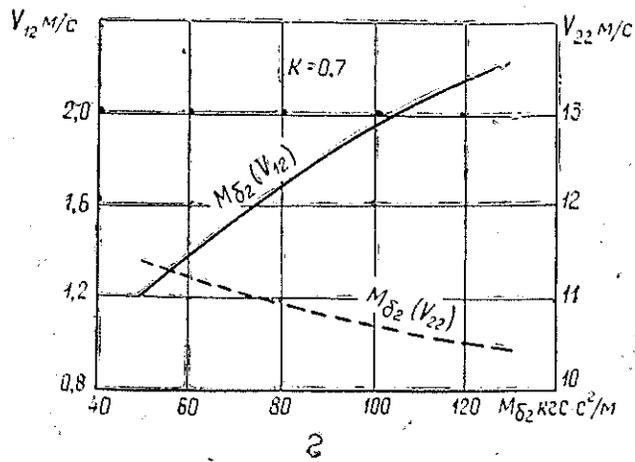
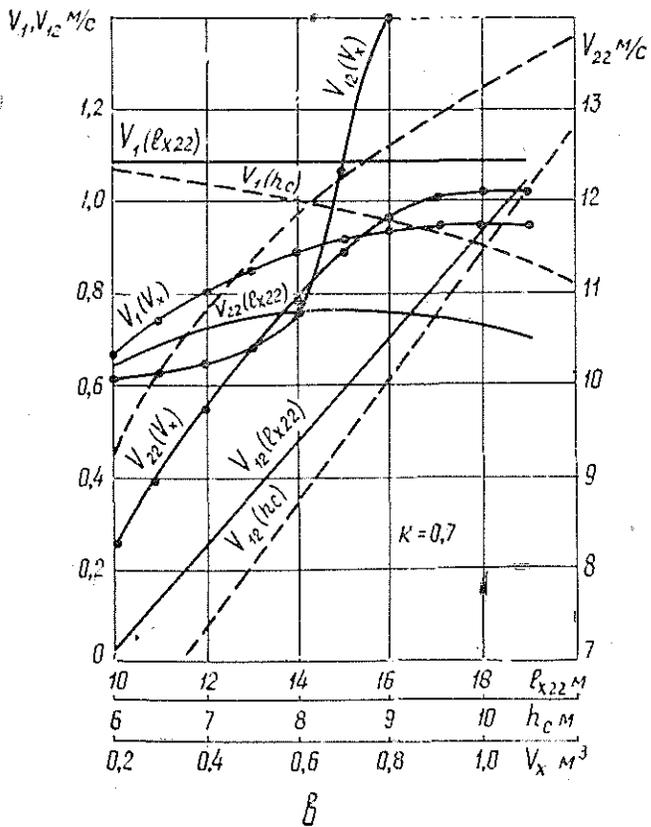


Рис. 2. Зависимость скоростей  $V_1$ ,  $V_{12}$  и  $V_{22}$  от коэффициента  $K$  и параметров систем.

$a - V_{12} = b(K); V_{22} = b(K); 1 - V_{12} = b(l_{x22}), K = 0,1; 2 - V_{12} = b(l_{x22}), K = 0,7; 3 - V_{22} = b(l_{x22}), K = 0,1; 1 - V_{22} = b(l_{x22}), K = 0,7; б - V_{22} = b(K); V_{12} = b(h_c); V_{22} = b(h_c); 1 - V_{12} = b(h_c), K = 0,7; 2 - V_{22} = b(h_c), K = 0,1; 3 - V_{22} = b(h_c), K = 0,7.$



Из уравнений (4) и (5) имеем

$$V_n = \frac{I_c(\omega_{1n} - \omega_{0n})}{M_{6n} l_{xnn}} \sin \beta_n. \quad (6)$$

Выразив  $V_n$  также из уравнения (5) и приравняв его (6), получим формулу для определения угловой скорости дерева после удара по опоре  $n$

$$\omega_{1n} = \frac{I_c m_d + m_d M_{6n} l_{x(n-1)n} l_{xnn} + I_c M_{6n}}{I_c m_d + m_d M_{6n} l_{xnn}^2 + I_c M_{6n}} \omega_{0n}. \quad (7)$$

Подставив выражение (7) в (6), получим формулу для скорости перемещения  $n$ -й приемной балки машины

$$V_n = \frac{I_c m_d (l_{x(n-1)n} - l_{xnn}) \sin \beta_n}{I_c m_d + m_d M_{6n} l_{xnn}^2 + I_c M_{6n}} \omega_{0n}. \quad (8)$$

Считаем, что на последнем этапе падения дерево, вращаясь вокруг  $n$ -й опоры, соударяется с опорой  $n+1$ . В данном случае, в соответствии с общей постановкой задачи, должно соблюдаться условие

$$l_{x(n+1)n} + l_{x(n+1)(n+1)} \geq \frac{I_c + m_d l_{x(n+1)n}^2}{m_d l_{x(n+1)n}}. \quad (9)$$

Тогда ударная нагрузка распределяется между обеими опорами  $n$  и  $n+1$  и на основании теоремы об изменении количества и момента количества движения системы за время удара запишем

$$\left. \begin{aligned} m_d (V'_{c(n+1)} - V_{c(n+1)}) &= -S_{n(n+1)} - S_{(n+1)(n+1)}; \\ I_c (\omega_{1(n+1)} - \omega_{0(n+1)}) &= l_{xn(n+1)} S_{n(n+1)} - l_{x(n+1)(n+1)} S_{(n+1)(n+1)}; \\ M_{6n} V_{n(n+1)} &= S_{n(n+1)} \sin \beta_{n+1}; \\ M_{6(n+1)} V_{(n+1)(n+1)} &= S_{(n+1)(n+1)} \sin \beta_{n+1}, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где  $V_{c(n+1)}$ ,  $V'_{c(n+1)}$  — линейные скорости центра масс дерева до и после удара по опоре  $n+1$ ;

$\omega_{0(n+1)}$ ,  $\omega_{1(n+1)}$  — угловые скорости дерева до и после удара по опоре  $n+1$ ;

$V_{(n+1)n}$ ,  $V_{(n+1)(n+1)}$  — скорости вертикальных перемещений опор  $n$  и  $n+1$  при соударении дерева с опорой  $n+1$ ;

$S_{n(n+1)}$ ,  $S_{(n+1)(n+1)}$  — импульсы ударных сил на опорах  $n$  и  $n+1$  при соударении дерева с опорой  $n+1$ ;

$\beta_{n+1}$  — угол между вертикалью и осью ствола дерева в момент встречи его с опорой  $n+1$ .

Скорости  $V_{c(n+1)}$  и  $V'_{c(n+1)}$  можно выразить следующим образом:

$$V_{c(n+1)} = l_{xnn} \omega_{0(n+1)}; \quad V'_{c(n+1)} = V_{n(n+1)(u)} + \omega_{1(n+1)} l_{xn(n+1)}, \quad (11)$$

где  $V_{n(n+1)(u)} = \frac{V_{n(n+1)}}{\sin \beta_{n+1}}$ .

Учитывая формулы (11) и выполнив преобразования, аналогичные преобразованиям системы уравнений (2), получим систему из двух

уравнений, содержащих неизвестные скорости перемещения балок  $n$  и  $n+1$ ,

$$\left. \begin{aligned} \frac{A}{\sin \beta_{n+1}} V_{n(n+1)} + \frac{B}{\sin \beta_{n+1}} V_{(n+1)(n+1)} - m_d l_{xnn} \omega_{0(n+1)} &= 0; \\ \frac{C}{\sin \beta_{n+1}} V_{n(n+1)} - \frac{D}{\sin \beta_{n+1}} V_{(n+1)(n+1)} + I_c \omega_{0(n+1)} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A &= M_{6n} + m_d - m_d \frac{l_{xn(n+1)}}{l_{xn(n+1)} + l_{x(n+1)(n+1)}}; \\ B &= M_{6(n+1)} + m_d \frac{l_{xn(n+1)}}{l_{xn(n+1)} + l_{x(n+1)(n+1)}}; \\ C &= \frac{I_c}{l_{xn(n+1)} + l_{x(n+1)(n+1)}} + M_{6n} l_{xn(n+1)}; \\ D &= \frac{I_c}{l_{x(n+1)} + l_{x(n+1)(n+1)}} + M_{6(n+1)} l_{x(n+1)(n+1)}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Из уравнений (12) имеем

$$V_{n(n+1)} = \frac{(Dm_d l_{xnn} - B I_c) \omega_{0(n+1)}}{CB + AD} \sin \beta_{n+1}; \quad (14)$$

$$V_{(n+1)(n+1)} = \frac{1}{B} (m_d l_{xnn} \omega_{0(n+1)} \sin \beta_{n+1} - A V_{n(n+1)}). \quad (15)$$

Формулы (7), (8) и (14), (15) позволяют определить скорости при любом конкретном числе приемных опор.

Из приведенных общих формул видно, что указанные скорости зависят от массы приемных балок, параметров дерева, характеристик взаимного расположения дерева и приемных устройств и т. д.

Конкретный анализ указанных параметров на начальные скорости перемещений приемных устройств был проведен на примере системы с двумя балками.

Расчеты производились с помощью ЭВМ «Мир-2» при следующих исходных параметрах системы:  $I_c = 14000 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $m_d = 408$ ;  $M_{61} = 50$ ;  $M_{62} = 50 \text{ кг}$ ;  $h_c = 11$ ;  $h_6 = 1,7$ ;  $a = 2,5$ ;  $l_{x12} = 8 \text{ м}$ .

На рис. 2 приведены зависимости для  $V_1$ ,  $V_{12}$ ,  $V_{22}$  от параметров системы  $l_{x22}$ ,  $h_c$ ,  $M_{62}$ ,  $V_x$ , а также от коэффициента  $K$ , равного отношению  $\frac{h_6}{a}$ , что позволяет исследовать в широких пределах влияние взаиморасположения первой опоры и дерева.

Из рис. 2, а видно, что влияние расстояния  $l_{x22}$  на скорость  $V_{12}$  значительно, однако до  $l_{x22} = 16 \text{ м}$   $V_{12}$  почти не зависит от  $K$ , при  $l_{x22} > 16 \text{ м}$  скорость  $V_{12}$  при увеличении  $K$  снижается.

При увеличении этого расстояния скорость  $V_{22}$  возрастает, однако это возрастание замедляется с увеличением  $l_{x22}$ . Кривые 3 и 4 показывают, что при  $l_{x22} > 16 \text{ м}$   $V_{22}$  начинает снижаться. При увеличении коэффициента  $K$  скорость  $V_{22}$  уменьшается.

Приведенные на рис. 2, б—г зависимости дают возможность установить влияние высоты центра тяжести дерева  $V_x$ , массы приемных балок  $M_{61}$  и  $M_{62}$ , объема дерева и других параметров на скорости первой и второй опор при первом и втором ударе. Из рис. 2, г видно, например, что при увеличении массы  $M_{62}$  скорость  $V_{12}$  увеличивается, а

скорость  $V_{22}$  уменьшается. Кривые рис. 2, в указывают, что увеличение объема дерева приводит к возрастанию скоростей как  $V_1$ , так  $V_{12}$  и  $V_{22}$ . Однако это увеличение неодинаково. Скорость  $V_1$  равномерно возрастает до  $V_x = 0,6 \text{ м}^3$ , а затем это возрастание замедляется и при объеме дерева более  $1,0 \text{ м}^3$  скорость  $V_1$  становится практически неизменной. Интенсивное увеличение скорости  $V_{22}$  начинается при объеме дерева более  $0,6 \text{ м}^3$ .

Анализ большого объема информации, полученной при расчете на ЭЦВМ, позволил установить, что существенное снижение скоростей возможно за счет таких параметров системы, как массы приемных балок, расстояния  $l_{x12}$  и  $l_{x22}$ , а также путем выбора рационального соотношения размеров  $h_6$  и  $a$ , т. е. коэффициента  $K$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Дебердеев А. А. Определение ударных нагрузок с учетом отдачи машины и прицепа при падении деревьев на транспортные средства. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1960, № 6. [2]. Кастрюлин А. А. Исследование некоторых вопросов направленного повала деревьев ударно-импульсным способом при срезании их напроход и гравитационном методе пакетирования. Автореф. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1974. [3]. Орлов С. Ф. Теория и применение агрегатных машин на лесозаготовках. Гослесбумиздат, 1963.

Поступила 1 ноября 1976 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.023

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИИ  
ПРИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИИ

Б. Е. ГАЛИНКИН, Б. И. КОЖЕВНИКОВ, В. П. МИРОНОВ

Воронежский лесотехнический институт

Рассматриваются результаты определения деформаций в зоне резания в зависимости от толщины срезаемого слоя, плотности обрабатываемого древесного материала, переднего и заднего углов режущего инструмента. Получены уравнения регрессии, по которым определяются деформации в обрабатываемом материале.

Высокое качество обработки резанием — одна из основных задач при проектировании технологического процесса. Деформации, возникающие в заготовке под действием внедряющегося резца, часто распространяются ниже поверхности резания, что приводит к образованию на ней неровностей и значительным остаточным деформациям в поверхностном слое материала изделия. Улучшения качества обработки можно достичь установлением таких режимов, когда основная часть деформаций будет локализоваться в стружке. Для этого необходимо тщательное изучение процесса стружкообразования.

Ввиду сложности явлений, происходящих при стружкообразовании, структурной неоднородности древесных материалов и трудностей аналитического решения нами было выбрано экспериментальное изучение деформаций. При этом использованы метод координатных сеток и скоростная киносъемка.

На рис. 1 представлена схема стружкообразования с нанесенной координатной сеткой на боковую поверхность обрабатываемого образца, что позволяет определить некоторые параметры процесса.

В настоящей статье представлены результаты исследования глубины деформации  $n$  под плоскостью среза и величины распространения деформации  $m$  перед режущей кромкой резца. Эти параметры взаимосвязаны, изменение величины одного из них оказывает влияние на величину другого. Параметр  $n$  важен для характеристики качества и напряженного состояния обработанной поверхности. Малым значениям  $n$  соответствует малое упругое восстановление в поверхностном слое обработанной детали, что повышает точность получаемого изделия при непрерывном стружкообразовании. Параметр  $m$  показывает величину возможной пластической деформации материала и предопределяет возникновение опережающей трещины. Чем меньше  $m$ , тем меньше возможность возникновения опережающей трещины (рис. 2), и, следовательно, образования выколов, расслоений, больших сколов и других дефектов поверхности.

При резании древесины возможны случаи, когда и при малых деформациях перед режущей кромкой и ниже плоскости резания ухудшается чистота обработанной поверхности в связи с распространением опережающей трещины в глубь обрабатываемого материала. Это особенно важно учитывать при изготовлении из модифицированной древесины деталей машин повышенной точности.

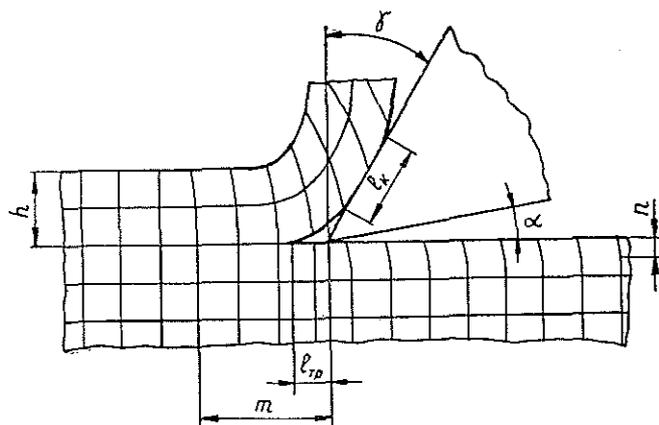


Рис. 1.

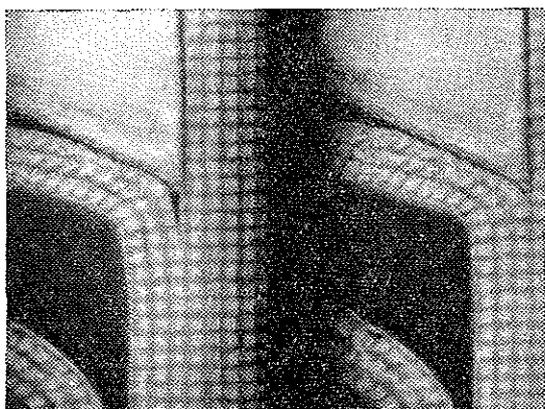


Рис. 2. Возникновение опережающей трещины при строгании,  
 $\gamma=25^\circ$ ,  $\alpha=5^\circ$ ,  $h=0,8$  мм,  $\rho=1,2$  г/см<sup>3</sup>.

Предварительные эксперименты показали, что режимы резания, геометрия режущего инструмента и физико-механические свойства обрабатываемого материала существенно влияют на параметры стружкообразования.

В целях минимизации числа опытов и изучения в достаточно широких пределах исследуемых параметров было использовано центральное композиционное униформ-рототабельное планирование второго порядка (РЦКП). Поверхность отклика в этом случае не имеет абсолютного экстремума. Определив значения параметров в исследуемом диапазоне, можно перейти к нахождению экстремальных величин [2].

Опыты проводили на экспериментальной установке, изготовленной на базе поперечно-строгального станка модели 736 при открытом резании с одновременной кинорегистрацией зоны стружкообразования [1]. Процесс резания снимали скоростной кинокамерой СКС-1М. Выбранная скорость съемки 1700 кадров в секунду обеспечи-

вала получение качественного изображения при скорости резания  $v=0,1$  м/с. Толщина срезаемого слоя  $h$  изменялась в пределах  $0,2-1,0$  мм, плотность древесины  $\rho - 0,9-1,3$  г/см<sup>3</sup>; передний  $\gamma$  и задний  $\alpha$  углы реза соответственно  $-5-35^\circ$ ;  $0-20^\circ$ . Материал образцов — прессованный бук при влажности  $W=8\%$ . Резание осуществляли в продольном направлении при ширине срезаемого слоя 8 мм. На боковую поверхность образца наносили типографским способом координатную сетку.

При изучении параметров деформаций  $n$  и  $m$  варьировали следующие факторы:  $x_1$  — передний угол, град;  $x_2$  — задний угол, град;  $x_3$  — толщина срезаемого слоя, мм;  $x_4$  — плотность древесины, г/см<sup>3</sup>.

Независимые условные переменные

$$x_1 = \frac{\gamma - 15}{10}; \quad (1)$$

$$x_2 = \frac{\alpha - 10}{5}; \quad (2)$$

$$x_3 = \frac{h - 0,6}{0,2}; \quad (3)$$

$$x_4 = \frac{\rho - 1,1}{0,1}. \quad (4)$$

Уровни и интервалы варьирования представлены в табл. 1. Для четырех переменных факторов принято общее число опытов  $N=31$  и построена методическая сетка опытов [3].

Таблица 1

Уровни варьирования	Независимые переменные факторы			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
Звездное плечо +2	35	20	1,0	1,3
Верхний уровень +1	25	15	0,8	1,2
Нулевой уровень 0	15	10	0,6	1,1
Нижний уровень -1	5	5	0,4	1,0
Звездное плечо -2	-5	0	0,2	0,9
Интервал варьирования	10	5	0,2	0,1

Матрица планирования переменных факторов в явном виде и полученные результаты откликов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Номер опыта	Факторы				Отклики	
	Передний угол $\gamma$ , град	Задний угол $\alpha$ , град	Толщина срезаемого слоя $h$ , мм	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Деформация перед резцом $m$ , мм	Деформация под резцом $n$ , мм
1	5	5	0,4	1,0	0,83	0,21
2	25	15	0,4	1,0	0,71	0,09
3	25	5	0,8	1,0	1,25	0,22
4	25	5	0,4	1,2	0,85	0,17
5	5	15	0,8	1,0	1,29	0,24
6	5	15	0,4	1,2	0,91	0,18
7	5	5	0,8	1,2	1,52	0,53
8	25	15	0,8	1,2	1,38	0,22
9	25	5	0,4	1,0	0,76	0,11
10	5	15	0,4	1,0	0,79	0,13
11	5	5	0,8	1,0	1,32	0,35
12	5	5	0,4	1,0	0,93	0,31
13	25	15	0,8	1,0	1,22	0,19
14	25	5	0,8	1,2	1,43	0,32
15	5	15	0,8	1,2	1,46	0,33
16	25	15	0,4	1,2	0,81	0,10
17	35	10	0,6	1,1	1,12	0,16
18	-5	10	0,6	1,1	1,5	0,42

Продолжение табл. 2

Номер опыта	Факторы				Отклики	
	Передний угол $\gamma$ , град	Задний угол $\alpha$ , град	Толщина срезаемого слоя $h$ , мм	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Деформация перед резцом $m$ , мм	Деформация под резцом $n$ , мм
19	15	0	0,6	1,1	1,08	0,38
20	15	20	0,6	1,1	1,00	0,17
21	15	10	0,2	1,1	0,54	0,02
22	15	10	1,0	1,1	1,79	0,30
23	15	10	0,6	0,9	0,94	0,13
24	15	10	0,6	1,3	1,09	0,27
25-31	15	10	0,6	1,1	1,02	0,2

Полагая, что факторы взаимосвязаны, представляем поверхность отклика в виде полинома второго порядка

$$y_x = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4, \quad (5)$$

где  $x_1, x_2, x_3, x_4$  — условные независимые переменные.

После проверки значимости полученных коэффициентов регрессии и удаления малозначимых членов выражения искомым параметром деформации представляются в следующем виде:

$$m = 1,01 - 0,06x_1 + 0,28x_3 + 0,06x_4 + 0,06x_1^2, \quad (6)$$

$$n = 0,20 - 0,06x_1 - 0,05x_2 + 0,07x_3 + 0,04x_4. \quad (7)$$

Уравнения (6), (7) адекватно представляют результаты экспериментов. Уравнения регрессии для фактических переменных получаются при замене в уравнениях (6), (7) условных переменных фактическими из формул (1), (4)

$$m = -0,265 - 0,024\gamma + 1,4h + 0,6\rho + 0,0006\gamma^2, \quad (8)$$

$$n = -0,26 - 0,006\gamma - 0,01\alpha + 0,35h + 0,4\rho. \quad (9)$$

Анализ экспериментального материала позволяет сделать следующие выводы.

1. Полученные уравнения регрессии позволяют определить величины распространения деформаций впереди режущей кромки и ниже плоскости резания при любых значениях переменных в исследованной области.

2. Коэффициенты регрессии для каждой независимой переменной определяют степень влияния ее на исследуемую величину. Наибольшее влияние на изучаемые параметры деформации оказывает толщина срезаемого слоя.

3. Величина деформации  $m = 1,5$  мм, как правило, является критической, превышение ведет к образованию опережающей трещины, а следовательно, и снижению качества обработанной поверхности.

4. Величина деформации  $n > 0,2$  мм вызывает значительное упругое последствие поверхности обработки, что влияет на точность получаемых размеров изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Кожевников Б. И., Миронов В. П. Применение высокоскоростной киносъемки для анализа стружкообразования при резании конструкционных материалов. — В сб.: Конструкционные материалы деталей лесных машин и их обработка. Воронеж, изд-во ВГУ, 1973. [2]. Налимов В. В., Чернова Н. А. Планирование экстремальных экспериментов. М., «Наука», 1965, [3]. Пижурин А. А. Современные методы исследований технологических процессов в деревообработке. М., «Лесная промышленность», 1972.

Поступила 15 декабря 1976 г.

УДК 674.05 : 621.935

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ПОЛОТНА ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ В СТАТИКЕ

Ю. В. МАЛЫШЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Дан теоретический расчет собственных частот полотна ленточной пилы изгибного и крутильного характера. Показано влияние геометрических параметров ленты и силы натяжения на собственные частоты. Использование в расчетах функций А. Н. Крылова позволило применить единый метод при выводе формул для собственных частот изгибных и крутильных колебаний. Полученные формулы позволяют определять любую собственную частоту полотна пилы с достаточной для практических расчетов точностью.

Колебания ленточной пилы наблюдаются на свободной ее части между шкивами. Представим ленту на этой части в виде некоторой балки, нагруженной продольной силой и определенным образом закрепленной на концах. Как показали эксперименты [4], для полотна ленточной пилы, натянутой на шкивах, в качестве краевых условий для изгибных колебаний можно принять шарнирное закрепление.

Уравнение изгибных колебаний балки постоянного сечения и растягивающей силой  $F$  имеет вид [5]

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - \frac{F}{EI} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{\mu}{EI} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где  $\mu$  — погонная масса;  
 $y(x; t)$  — отклонение ленты от положения равновесия;  
 $EI$  — жесткость на изгиб;  
 $F$  — сила натяжения ленты на шкивах.

Простейшим решением уравнения свободных колебаний (1) ленты является так называемое главное колебание, в котором  $y(x; t)$  изменяется с течением времени  $t$  по гармоническому закону

$$y(x; t) = \varphi(x) \sin(\omega_y t + \alpha), \quad (2)$$

где  $\varphi(x)$  — собственная форма колебания;  
 $\omega_y$  — собственная частота колебания.

Для получения уравнения собственных форм однородной задачи подставим (2) в (1). После сокращения на  $\sin(\omega_y t + \alpha)$  имеем

$$\varphi^{IV}(x) - \frac{F}{EI} \varphi''(x) - \frac{\mu}{EI} \omega_y^2 \varphi(x) = 0. \quad (3)$$

Соответствующее характеристическое уравнение

$$k^4 - \frac{F}{EI} k^2 - \frac{\mu}{EI} \omega_y^2 = 0. \quad (4)$$

Корнями уравнения (4) являются

$$\left. \begin{aligned} k_{1,2} &= \pm \left[ \frac{F}{2EI} + \left( \frac{F^2}{4E^2I^2} + \frac{\mu}{EI} \omega_y^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}}; \\ k_{3,4} &= \pm i \left[ -\frac{F}{2EI} + \left( \frac{F^2}{4E^2I^2} + \frac{\mu}{EI} \omega_y^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Первый и второй корни уравнения (4) — вещественные, а третий и четвертый — мнимые. Следовательно, общее решение уравнения (3)

$$\varphi(x) = C_1 \operatorname{sh} k_1 x + C_2 \operatorname{ch} k_2 x + C_3 \sin k_3 x + C_4 \cos k_4 x. \quad (6)$$

Оно содержит четыре произвольные постоянные  $C_1, C_2, C_3, C_4$ , которые должны быть подобраны так, чтобы для функции выполнялись краевые условия.

Для решения уравнения (3) воспользуемся функциями А. Н. Крылова, являющимися частными решениями уравнения (3) [1]

$$\left. \begin{aligned} S(x) &= \frac{1}{2} (\operatorname{ch} k_2 x + \cos k_4 x); \\ T(x) &= \frac{1}{2} (\operatorname{sh} k_1 x + \sin k_3 x); \\ U(x) &= \frac{1}{2} (\operatorname{ch} k_2 x - \cos k_4 x); \\ V(x) &= \frac{1}{2} (\operatorname{sh} k_1 x - \sin k_3 x). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Так как решение однородного уравнения (3) дает парные корни, то обозначим  $k_1 = k_2 = j$ ;  $k_3 = k_4 = \gamma$ . Тогда

$$\left. \begin{aligned} S(x) &= \frac{1}{2} (\operatorname{ch} j x + \cos \gamma x); \\ T(x) &= \frac{1}{2} (\operatorname{sh} j x + \sin \gamma x); \\ U(x) &= \frac{1}{2} (\operatorname{ch} j x - \cos \gamma x); \\ V(x) &= \frac{1}{2} (\operatorname{sh} j x - \sin \gamma x). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Найдя значения этих функций и их производных  $\frac{\partial}{\partial(jx)}$  и  $\frac{\partial}{\partial(\gamma x)}$  до третьего порядка включительно при  $x = 0$ , можно составить таблицы для определения постоянных интегрированных уравнения (6).

Одним из преимуществ функций А. Н. Крылова является то, что с их помощью можно сразу написать выражение общего интеграла для уравнения (1), удовлетворяющее условиям на конце  $x=0$  и содержащее только две постоянные, которые определяются из условий на другом конце  $x=l$ .

Как уже указывалось, необходимо принять шарнирное закрепление ленты. В этом случае интеграл, удовлетворяющий условиям на конце  $x=0$  ( $\varphi(0) = \varphi''(0) = 0$ ) должен содержать функции, обращающие-

ся в нуль вместе со своими вторыми производными. Такими функциями являются функции  $T(x)$  и  $V(x)$ . Следовательно,

$$\varphi(0) = C_1 T(0) + C_3 V(0) = 0. \quad (9)$$

Постоянные  $C_1$  и  $C_3$  найдутся из условий на конце  $x = l$ , а так как этот конец также шарнирно закреплен, то

$$\varphi(l) = C_1 T(l) + C_3 V(l) = 0. \quad (10)$$

$$\varphi''(l) = C_1 T''(l) + C_3 V''(l) = 0. \quad (11)$$

Решая совместно в элементарных функциях уравнения (10) и (11), получим следующее уравнение частот

$$\sin \gamma l = 0 \Rightarrow \gamma l = \pi n \quad (n = 1, 2, 3, \dots), \quad (12)$$

подставив сюда  $\gamma$  из (5), получим

$$\begin{aligned} lE \frac{F}{2EI} + \left[ \left( \frac{F^2}{4E^2 I^2} + \frac{\mu}{EI} \omega_y^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} &= \pi n = > \\ = < \omega_y &= \frac{\pi^2 n^2}{l^2} \left( \frac{EI}{\mu} \right)^{\frac{1}{2}} \left( 1 + \frac{F l^2}{\pi^2 n^2 EI} \right)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Аналогичный результат можно получить методом Фурье [6].

Таким образом, уравнение (13) позволяет определить все собственные изгибные частоты  $\omega_y$  ленточной пилы в зависимости от ее параметров ( $l; I$ ) и силы натяжения ветви  $F$ .

Для определения собственных крутильных частот ленточной пилы рассмотрим дифференциальное уравнение деформации при стесненном кручении тонкостенного стержня [2]:

$$EI_\omega \frac{\partial^4 \theta}{\partial x^4} - GI_k \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + M = 0, \quad (14)$$

где  $\theta(x; t)$  — угол поворота сечения ленты;

$GI_k$  — жесткость на кручение;

$E$  — модуль упругости;

$I_\omega$  — секториальный момент инерции;

$M$  — моментная нагрузка.

Для прямоугольного сечения ленты секториальный момент инерции  $I_\omega = 0$ , поэтому (14) переписывается

$$-GI_k \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + M = 0. \quad (15)$$

Для натянутой ленты моментная нагрузка при кручении складывается из момента от инерции массы ленты  $M_{ин}$  и момента от силы натяжения ленты  $M_F$

$$M = M_{ин} + M_F. \quad (16)$$

Значения  $M_{ин}$  и  $M_F$  можно определить по формулам

$$M_{ин} = -\mu r^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}; \quad (17)$$

$$M_F = Fr^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \quad (18)$$

где  $r = \frac{h^2 + b^2}{12}$  — полярный радиус инерции.

Подставив (17) и (18) в (15), получим

$$(GI_k + Fr^2) \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} - \mu r^2 \frac{\partial^2 \Theta}{\partial t^2} = 0. \quad (19)$$

Выражение (19) — дифференциальное уравнение крутильных колебаний растянутой ленты.

Решение уравнения (19) ищем как и для изгибных колебаний:

$$\Theta(x; t) = \psi(x) \sin(\omega_\Theta t + \beta). \quad (20)$$

Подставив (20) в (19) и сократив на  $\sin(\omega_\Theta t + \beta)$ , получим

$$(GI_k + Fr^2) \psi''(x) + \mu r^2 \omega_\Theta^2 \psi(x) = 0. \quad (21)$$

Соответствующее характеристическое уравнение будет

$$(GI_k + Fr^2) k^2 + \mu r^2 \omega_\Theta^2 = 0,$$

откуда

$$k_{1,2} = \pm i \left( \frac{\mu r^2 \omega_\Theta^2}{GI_k + Fr^2} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (22)$$

Общий интеграл уравнения (19)

$$\varphi(x) = C_1 \sin k_1 x + C_2 \cos k_2 x. \quad (23)$$

Граничные условия ленточной пилы для кручения соответствуют заземлению ветвей ленточной пилы на шкивах. Следовательно,

$$\Theta(0) = \Theta(l) = 0. \quad (24)$$

Используя граничные условия (24), легко можно определить  $C_1$  и  $C_2$

$$\Theta(0) = C_2 = 0;$$

$$\Theta(l) = C_1 \sin kl = 0. \quad (25)$$

Так как тривиальное решение  $C_1 = 0$  нас не устраивает (отсутствие колебаний), то

$$\sin kl = 0 \Rightarrow kl = \pi n \quad (n = 1, 2, 3 \dots) \quad (26)$$

Подставив в (26) значение  $k$  из (22), получим

$$l \left( \frac{\mu r^2 \omega_\Theta^2}{GI_k + Fr^2} \right)^{\frac{1}{2}} = \pi n \Rightarrow \omega_\Theta = \frac{\pi n}{l} \left( \frac{GI_k + Fr^2}{\mu r^2} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (27)$$

Таким образом, выражения (13) и (27) представляют собой частотную характеристику полотна ленточной пилы в статике. По ним можно вычислить все собственные частоты полотна пилы в зависимости от параметров ее и силы натяжения.

Выражения (13) и (27) хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными на вибростенде [3—4].

Результаты проведенного теоретического исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Полотно ленточной пилы представляет собой колебательную систему с бесконечным числом собственных частот изгибного и крутильного видов.

2. За граничные условия закрепления ленты на шкивах для изгибных колебаний следует принимать шарнирное закрепление, для крутильных — заземление.

3. Собственные частоты полотна ленточной пилы в статике определяются выражениями (13) и (27).

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Бабак И. М. Теория колебаний. М., «Наука», 1965, 546 с. [2]. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. М., ГТТИ, 1958, 856 с. [3]. Малышев Ю. В. Исследование собственных колебаний ленточных пил. «Механическая переработка древесины». Научные труды ЛТА, 1972, № 151, с. 6—9. [4]. Малышев Ю. В. Исследование некоторых условий, обеспечивающих рациональную эксплуатацию ленточных делительных пил с твердым сплавом для распиловки древесины. Дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1974, 198 с. [5]. Расчеты на прочность в машиностроении. Под ред. Пономарева С. Д., 1959, т. 3, 1112 с. [6]. Фихтингольц Г. М. Математика для инженеров. М., ГТТИ, 1933, т. II, 438 с.

Поступила 9 ноября 1976 г.

УДК 674.812 : 621.892 + 674.04 : 539.40.14

### МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО ФТОРОПЛАСТОМ ТЕКСТОЛИТА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

А. Б. ИЗРАЕЛИТ, Р. М. МУРЗИЧ

Ленинградская лесотехническая академия

Установлены закономерности изменения механических свойств модифицированных древесных материалов в функции от температуры. Найдены зависимости, необходимые для расчета и проектирования машинных узлов трения.

В машиностроении и ремонтно-механическом производстве все большее место занимают детали, изготовленные из неметаллических материалов, в частности, из текстолита с антифрикционной добавкой фторопласта-4Д. Эти детали используют в узлах трения скольжения в качестве опорных подшипниковых втулок и вкладышей для валов и осей.

В процессе эксплуатации температура изделий повышается за счет выделения фрикционного тепла. Это вызывает изменение механических свойств материала и существенно отражается на его деформировании, износе и конструктивных параметрах узлов. Закономерности изменений свойств модифицированных древесных материалов, в том числе и текстолитов изучены очень слабо. В то же время знать их совершенно необходимо для расчета, проектирования и конструктивной оптимизации машинных узлов трения из этих материалов. В настоящей работе сделана попытка установить некоторые зависимости на основе экспериментальных исследований.

Для проведения опытов были изготовлены специальные стержневые брикеты из текстолита путем спиральной намотки прогретой до 50—60°C хлопчатобумажной ленты, которую предварительно пропитывали смолой СБС-1 с добавкой фенолобутирального лака ФБФ-74Д. Плотность брикетов — в пределах 0,65—0,70 г/см<sup>3</sup>.

Текстолитовые брикеты подвергали нагреву в сушильном шкафу и последующему осевому прессованию при давлении 150—300 кгс/см<sup>2</sup> и температуре 150—170°C с выдержкой 5—6 мин на 1 мм толщины готового изделия. Из полученных таким образом стержней были в соответствии с ГОСТом 4651—68 изготовлены и затем испытаны на машине ИМ-5 на сжатие опытные образцы (с одновременной записью хода испытания на диаграммной ленте). Нагрев образцов до заданной температуры (20; 60; 80; 100; 120°C) производили в термощкафу. Температуру нагрева контролировали с помощью термопары хромель — капель. Нагретые образцы испытывали на сжатие как в направлении прессования, так и в перпендикулярном к нему.

Диagramмы деформирования приведены на рис. 1. Во всех случаях разрушение носило пластический характер и происходило при больших остаточных деформациях с достаточно интенсивным снижением напряжения на последнем этапе нагружения. При испытании определяли следующие экспериментальные характеристики (рис. 1):

- $\sigma_{max}$  — предел прочности материала;
- $\sigma_{пр}$  — характеристика прочности в момент разрушения;
- $\epsilon_1$  — деформация, соответствующая достижению в материале предела прочности;
- $\epsilon_2$  — максимальная деформация;

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\epsilon_1} \text{ — модуль деформации материала.}$$

В табл. 1 приведены средние значения характеристик по всем проведенным испытаниям текстолитовых образцов на сжатие.

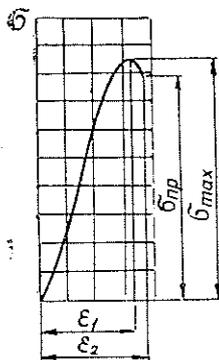


Рис. 1. Характерный вид диаграммы деформирования испытанных образцов текстолита.

Таблица 1

Направление нагружения	Температура испытания	Экспериментальные значения					Аппроксимирующие зависимости	
		$\sigma_{max}$ кгс/см <sup>2</sup>	$\sigma_{пр}$ кгс/см <sup>2</sup>	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$E = \frac{\sigma_{max}}{\epsilon_1}$	$\sigma = \sigma_0 e^{z(t-20)}$	$E = E_0 e^{y(t-20)}$
Поперек направления прессования	20	1700	1480	0,10	0,12	17000	$\sigma_0 = 1670$ кгс/см <sup>2</sup> $z = -0,0037$	$E = 15760$ кгс/см <sup>2</sup> $y = -0,0043$
	60	1460	1280	0,11	0,12	13200		
	80	1300	1180	0,11	0,12	11800		
	100	1110	810	0,11	0,12	10100		
	120	1270	1000	0,13	0,17	11500		
Вдоль направления прессования	20	1740	1570	0,10	0,12	17400	$\sigma_0 = 1630$ кгс/см <sup>2</sup> $z = -0,0047$	$E = 17180$ кгс/см <sup>2</sup> $y = -0,0045$
	60	1250	1250	0,09	0,10	13900		
	80	1170	1170	0,10	0,11	11700		
	100	1100	1100	0,09	0,12	12200		
	120	1090	945	0,09	0,11	12100		

После ряда пробных попыток аппроксимирующие зависимости для прочности  $\sigma_{max}$  и модуля деформации  $E = \frac{\sigma_{max}}{\epsilon_1}$  были приняты в виде экспонент

$$\sigma = \sigma_0 e^{z(t-20)}, \quad E = E_0 e^{y(t-20)}, \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  и  $E_0$  — начальные характеристики, соответствующие температуре испытания 20°C;

$z$  и  $y$  — декременты затухания.

Для определения параметров аппроксимирующих зависимостей  $\sigma_0$ ,  $E_0$ ,  $z$  и  $y$  по результатам опыта был использован способ наименьших квадратов применительно к линейным уравнениям, полученным логарифмированием исходных (1)

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 + z(t-20), \quad \ln E = \ln E_0 + y(t-20). \quad (2)$$

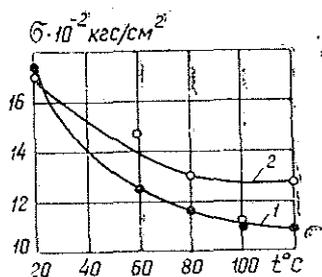


Рис. 2. Зависимость прочности текстолита с фторопластом от температуры при сжатии.

1 — параллельно прессованию; 2 — перпендикулярно прессованию.

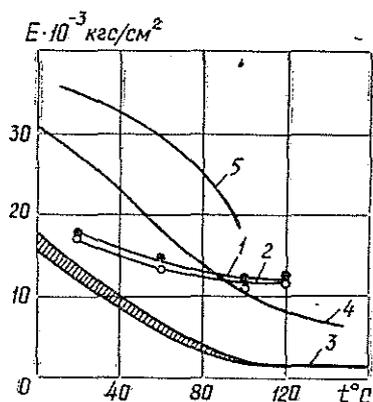


Рис. 3. Зависимость модуля упругости от температуры при сжатии.

1 — текстолит с фторопластом параллельно прессованию; 2 — то же перпендикулярно прессованию; 3 — политетрафторхлорэтилен; 4 — полиамид 66; 5 — полиметилметакрилат.

Найденные параметры аппроксимирующих уравнений приведены в последних двух столбцах таблицы.

Декременты затухания в поперечном направлении получились несколько меньше, чем в продольном. Это соответствует описанному выше строению материала. Начальные значения прочности и деформативности в рассматриваемых направлениях материала очень близко совпадают, и их различия при проектном расчете можно не учитывать.

Установив закономерности изменения модуля деформации в зависимости от температуры, можно выявить кинетику развития деформаций деталей из текстолита при их эксплуатации. Необходимое условие для этого — установление характера изменения температуры, т. е. ее зависимость от продолжительности трения или эксплуатации. На основе найденных аппроксимаций построены графики зависимости предела прочности от температуры (рис. 2, кривые 1, 2) и графики зависимости модуля деформации от температуры (рис. 3, кривые 1, 2). Здесь же на рис. 3 приведены для сравнения закономерности изменения модуля деформации политетрафторхлорэтилена, полиамида 66 и полиметилметакрилата (соответственно кривые 3, 4, 5)\*.

Исследованный текстолит, в отличие от этих пластмасс, обнаруживает значительно меньшее снижение жесткости в тех же пределах температурного интервала, падение модуля деформации не превышает 30—35% как вдоль, так и поперек направления прессования. Это характеризует текстолит как весьма перспективный материал для машинных узлов трения. Следует также отметить, что интенсивность снижения жесткости и прочности текстолита убывает с повышением температуры. Стабилизация этих характеристик практически наблюдается при температуре около 100°C, что также практически важно и позволяет вести расчет по соответствующим значениям  $\sigma_{max}$  и  $E$ .

\* Хуго И., Кабелка И. и др. Конструкционные пластмассы, свойства и применение. М. «Машиностроение», 1969, с. 26.

Совпадение экспериментальных данных с принятыми аппроксимирующими зависимостями очень близкое, что позволяет применять их для расчетов.

Анализ изменения модуля упругости других конструкционных материалов и материалов испытанных нами образцов показал, что наименьшим изменением модуля упругости обладает текстолит с фторопластом-4Д. Это дает возможность более широко, по сравнению с известными материалами, использовать его для работы в условиях повышенных температур.

### Выводы

1. Полученные зависимости позволяют прогнозировать изменение свойств материала при изменении температуры не только в рассматриваемом интервале, но и за его пределами, т. е. при  $t > 120^\circ\text{C}$ .

2. Учитывая стойкость величин найденных декрементов затухания, можно рекомендовать для всех модифицированных материалов типа текстолитов принимать их равными — 0,004 как для характеристик прочности, так и для модулей деформаций.

3. При расчете и проектировании машинных узлов из текстолитов в качестве расчетных характеристик следует принимать стабилизированные значения при повышенной температуре  $t > 100^\circ\text{C}$ , т. е. предел прочности  $\sigma_{max} \approx 1000 \text{ кгс/см}^2$ , модуль деформации  $E = (11 \div 12) \times 10^8 \text{ кгс/см}^2$ .

Поступила 12 апреля 1976 г.

УДК 621.91.071 : 634.0.865

## СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПЛАСТИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Г. А. ТИХОМИРОВА

Московский лесотехнический институт

Изучен вопрос износостойкости режущего инструмента при фрезеровании лигнамона-Н, применяемого в паркетном производстве в качестве лицевого покрытия.

В паркетном производстве в качестве лицевого покрытия паркетных досок и щитов все шире применяется химически пластифицированная древесина — лигнамон [1]. Это привело к необходимости изучить возможность обработки такого материала фрезерованием, пилением и т. д.

В связи с этим на кафедре станков и инструментов Московского лесотехнического института совместно с ДОКом № 13 Главмоспромстройматериалов в содружестве с СКТБ модификации древесины «Лигномод» Латвийской ССР было проведено исследование с целью выбора оптимальных режимов и оптимальных угловых параметров инструмента при обработке фрезерованием лигнамона плотностью  $\approx 700 \text{ кг/м}^3$ , полученного путем высушивания (без применения давления) обработанной аммиаком древесины березы.

Исследовали износостойкость инструмента при обработке лигнамона, изготовленного на опытно-экспериментальном участке ДОКа № 13 и используемого в качестве ламелей для паркетных досок. Для выявления наилучших условий обработки необходимо было изучить законо-

мерности износа инструмента, определить возможности увеличения его стойкости при сохранении высокого качества продукции.

Основная задача исследований — изучение изменения микрогеометрии режущей кромки ножа из легированной стали марки 9Х5ВФ в процессе работы при различных скоростях подачи и различных угловых параметрах (табл. 1).

Таблица 1

Ножи	Угол заточки, град	Задний угол, град
№ 1 и 2	60	15
№ 3 и 4	50	15
№ 1а, 2а, 3а, 4а	40	10

Микрогеометрия режущей кромки ножа связана с условиями работы и оказывает влияние на качество обработанной поверхности, выражаемое наличием и глубиной вырывов, заколов и других нарушений поверхности. Максимальная высота неровностей определяет класс шероховатости по ГОСТу 7016—68. Основным параметром оценки в наших опытах являлось качество поверхности (вырывы волокон на поверхности обработки), удовлетворяющее 7-му классу шероховатости.

Изменение микрогеометрии исследовали методом свинцовых оттисков ножей [2]. Полученные оттиски фотографировали с необходимым для работы увеличением.

В табл. 2 представлены схемы, полученные с микрофотографий оттисков ножей, проработавших в различных условиях и прошедших определенный путь резания. Как видно из рисунков, износ режущей кромки происходил как по задней, так и по передней грани ножа. При углах резания  $\delta = 50^\circ$  (ножи № 1а, 2а, 3а, 4а) преобладает износ по задней грани в виде ярко выраженной фаски; при  $\delta = 65^\circ$  и  $U_z = 1,4$  мм (опыт № 2) износ практически равномерен по обеим граням; при  $\delta = 75^\circ$  наблюдается четко выраженная лунка по передней грани; а задняя грань изнашивается по кривой, приближающейся к параболе (опыты № 3, 4, 5).

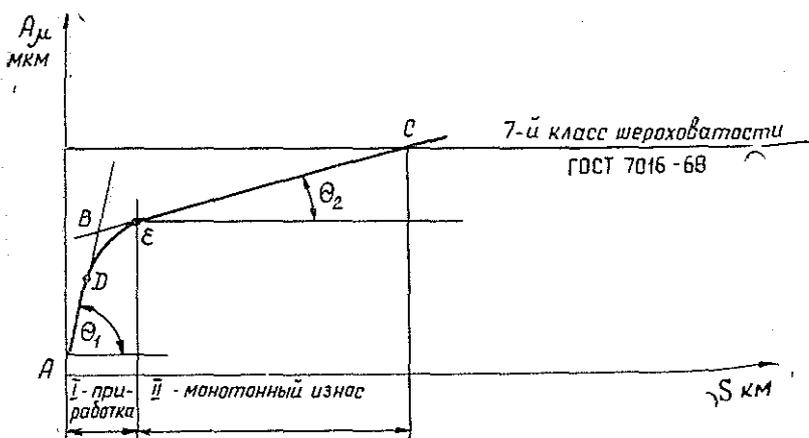
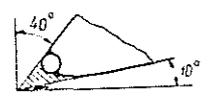
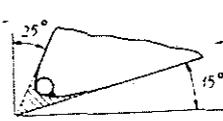
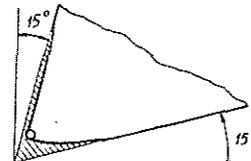
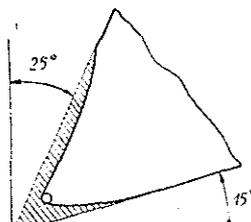
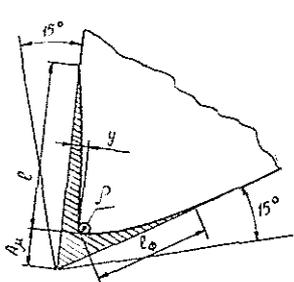


Рис. 1. Графическая зависимость, характеризующая изменение параметра износа  $A_\mu$  с изменением пути резания  $S$ .

Таблица 2

Номер опыта	Номер ножа	Условия фрезерования			Численные значения параметров при максимальном пути $S$						Кривая затупления при $S_{max}$
		$\beta_0/\beta_0$	$U_z$ мм	$h_{max}$ мм	$A_p$ мкм	$\delta$ мкм	$l_{\phi}$ мкм	$I$ мкм	$y$ мкм	$S$ км	
1	1a	40/50	0,6	0,175	50	7,5	47,5	—	—	15	
	2a				44	10,5	40	—	—		
	3a				50	10,5	40	—	—		
	4a				50	10,	45	—	—		
2	3	50/65	1,4	0,486	50	25	90	—	—	12	
3	1	60/75	1,4	0,486	54,6	10,8	43	155	5	15	
	2				56	12	72	150	2,7		
4	3	50/65	0,7	0,243	53	12,5	110	148	14,5	11	
	4				54,5	12,5	182	225	17,5		
5	1	60/75	0,7	0,243	36	15	155	300	25	11	
	2				45	13	125	220	20		

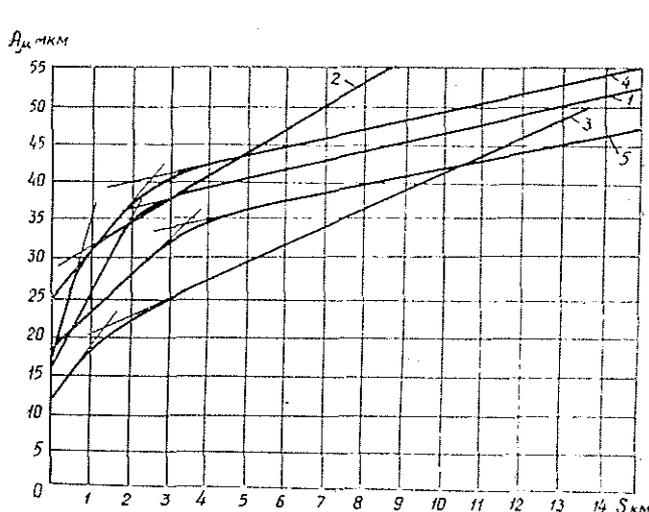


Рис. 2. График зависимости  $A_p$  от  $S$  при разных условиях обработки.

1 — опыт № 1 —  $U_z = 0,6$ ,  $\delta = 50^\circ$ ; 2 — № 2 —  $U_z = 1,4$ ,  $\delta = 65^\circ$ ;  
 3 — № 3 —  $U_z = 1,4$ ,  $\delta = 75^\circ$ ; 4 — № 4 —  $U_z = 0,7$ ,  $\delta = 65^\circ$ ;  
 5 — № 5 —  $U_z = 0,7$ ,  $\delta = 75^\circ$ .

Анализ численных величин параметров кривой затупления режущей кромки (табл. 2, опыт № 5) показал, что наиболее равномерно и закономерно с течением времени (или с увеличением пути резца в материале  $S$ ) возрастает линейный параметр износа  $A$ , который и был взят за основу при построении графиков, характеризующих стойкость инструмента.

График зависимости  $A_p(S)$  состоит из двух участков (рис. 1): I — участок приработки, когда износ резко возрастает с увеличением пути резания; II — участок монотонного износа, когда нарастание параметра происходит медленнее. Построенные по нашим опытным данным зависимости  $A_p$  от  $S$  (рис. 2) при различных условиях фрезерования позволили сделать следующие выводы.

1. Графики износа (кривая  $ADEC$  на рис. 1) могут быть представлены двумя пересекающимися прямыми  $AB$  и  $BC$ , наклоненными под разными углами к оси  $X$ . Углы наклона этих прямых характеризуют интенсивность износа в I ( $\theta_1$ ) и во II ( $\theta_2$ ) периодах работы инструмента.

2. Значения углов наклона  $\theta_1$  и  $\theta_2$  зависят от величины  $U_z$ : с возрастанием  $U_z$  углы  $\theta_1$  и  $\theta_2$  увеличиваются.

3. Угол  $\theta_1$  изменяется с изменением угла  $\delta$ . Это говорит о том, что при разных  $\delta$  процесс приработки (выкрашивание и облом лезвия) происходит с различной интенсивностью.

4. С изменением  $\delta$  (в исследуемом диапазоне) при  $U_z = \text{const}$  значение угла  $\theta_2$  практически не меняется, т. е. во II периоде потеря режущих свойств инструмента в единицу времени постоянна.

5. Толщина стружки — основной фактор, влияющий на интенсивность износа и стойкость инструмента: увеличение толщины стружки (выражаемое через  $U_z$ ) вызывает более интенсивный износ режущей части инструмента; с увеличением  $U_z$  в 2 раза стойкость его уменьшается в  $1,5 \div 2$  раза.

При проведении экспериментов наблюдали за состоянием обработанной поверхности, на которой образовалось большое количество вырывов ( $H_{\text{макс}} = 60 \div 70$  мкм). Это объясняется тем, что при обработке лигнамона-Н (пластифицированная неуплотненная древесина), вследствие повышенной вязкости происходит сильное налипание пучков волокон на лезвие ножа, несомненно увеличивающее его износ.

Проведенные исследования и анализ их результатов дают возможность рекомендовать оптимальную величину подачи на зуб при следующих угловых параметрах ножей из стали марки 9Х5ВФ для фрезерования лигнамона-Н, обеспечивающую качество поверхности в пределах 7-го класса шероховатости по ГОСТу 7016—68: угол заточки ножа  $\beta = 40^\circ \div 50^\circ$ ; угол резания  $\delta = 50^\circ \div 65^\circ$ .

Таким образом, лигнамон-Н, используемый в паркетном производстве, можно обрабатывать инструментом из легированной стали на существующем оборудовании. Износостойкость инструмента, выражаемая наибольшим количеством профрезерованного материала без потери режущих свойств, может быть повышена в производственных условиях подбором соответствующих угловых параметров и режимов резания.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Берзиньш Г. В., Знемелис А. Э., Советин В. К., Гиневич А. А. Паркет из пластифицированной древесины. — В сб.: Пластификация и модификация древесины. Рига, «Зинатне», 1970. [2]. Исследование режимов механической обработки химически пластифицированной древесины в производстве паркета. Отчет МЛТИ по научно-исследовательской теме № 231, № Б 327793, 1972—1973.

Поступила 15 ноября 1976 г.

УДК 674.023 : 537.3

### О ВЛИЯНИИ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В СИСТЕМЕ СИД НА НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА

А. В. АЛЕКСЕЕВ.

Ленинградская лесотехническая академия

Изложены результаты исследования электрохимических явлений, оказывающих влияние на износ режущих элементов инструмента. Показана возможность управления этими явлениями путем наложения внешнего электрического тока в системе СИД.

Предположение о возможности влияния собственных электрохимических процессов в зоне резания на износ дереворежущего инструмента было высказано Д. М. Калининным еще в 1935 г. [3]. В течение длительного времени это предположение не получало отклика, и только в 1952 г. финский исследователь Е. Кивимаа опубликовал результаты своих работ по резанию влажной древесины с применением внешнего постоянного тока [4]. При подключении отрицательного полюса источника тока к ножевому валу, электрически изолированному от массы рейсмусного станка, а положительного — к столу станка, по которому двигалась обрабатываемая деталь, износ ножей уменьшался. При перемене полярности износ возрастал. За критерий затупления принимали величину силы резания; напряжение подводимого тока 1500 В при силе в несколько мА. Было сделано заключение о существенном влия-

нии электрохимических (коррозионных) процессов на затупление инструмента и возможности подавления этих процессов наложением внешнего тока.

Проведенные нами опыты [1] подтвердили возможность влияния электрического тока в системе станок — инструмент — деталь на величину силы резания. Однако интерпретация результатов этих опытов несколько отличалась от выводов, сделанных в свое время Е. Кивимаа.

Мы проводили опыты на специальной измерительной установке при элементарном резании березовой древесины различной влажности при разном напряжении подводимого постоянного тока. Чтобы уловить только влияние наложенного тока на силу резания, первую половину образца подвергали резанию без тока, а вторую — под током. Все прочие условия (резание — тонкое, радиус закругления режущей кромки резца — 2 мкм, толщина стружки — 0,2 мм, угол резания — 45°, угол заострения резца — 30°, скорость резания — 0,5 м/с) сохраняли в пределах одного опыта неизменными. Постоянный ток подводили к образцу с помощью контактной пластинки. Второй полюс источника тока присоединяли к резцу.

На рис. 1, *a* приведена характерная осциллограмма для силы резания, а на рис. 1, *б* и 1, *г* — графики изменения этой силы в зависимости от величины напряжения подводимого тока и влажности образца.

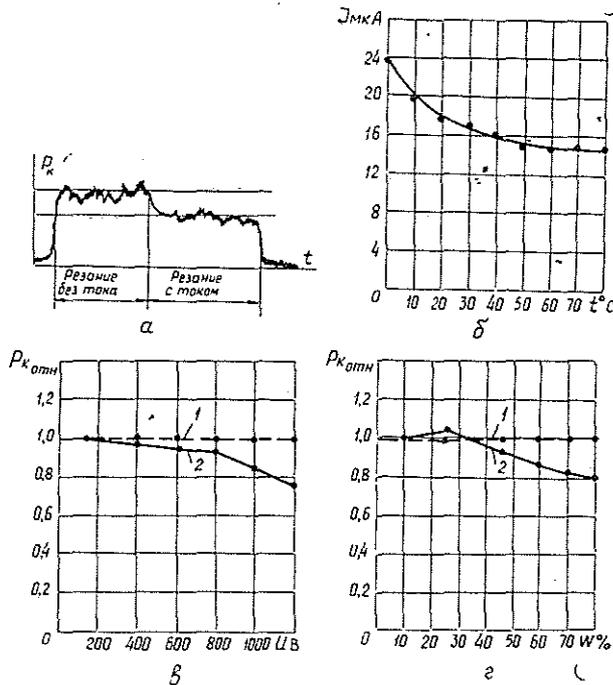


Рис. 1. Влияние электрического тока, наложенного на систему СИД, при элементарном резании, на величину силы резания.

*a* — осциллограмма касательной силы; *б* — влияние времени на величину тока в цепи гальвано-элемента (анод — сталь, катод — прессуголь; электролит — древесная влага); *в* — зависимость касательной силы от величины напряжения (в относительных единицах); 1 — резание без тока; 2 — то же с током; *г* — зависимость касательной силы от влажности древесины (в относительных единицах); обозначения те же.

Результаты обработки полученных данных показали, что наложение тока на систему СИД способствует снижению силы резания, при-

чем это снижение тем больше, чем выше напряжение и влажность древесины.

Так, при напряжении 1200 В и влажности древесины 70—80% снижение силы резания достигает 21% по сравнению с резанием без тока. Оказалось также, что перемена полярности тока весьма незначительно влияет на снижение силы резания: при минусе на резце сила резания уменьшалась в 1,07—1,10 раза больше, чем при обратной полярности.

Наши первоначальные предположения о возможном существенном влиянии электроосмоса на силу резания не подтвердились. По всей вероятности, здесь в большей степени имело место тепловое воздействие тока на свойства древесины в зоне ее контакта с режущей кромкой резца: нагрев влажной древесины способен значительно снизить ее механическую прочность.

Что касается влияния внешнего тока на износ инструмента, то не исключена возможность стимулирования или, наоборот, гашения активности собственных микрогальванопар. Такие пары могут образовываться на режущей кромке резца, вследствие различия свойств структурных и химических составляющих стали и наличия в зоне резания древесной влаги, являющейся электролитом.

Возможность образования пар и избирательного (анодного) растворения металла резца косвенно подтвердилась опытом, в котором два электрода — стальной и угольный — были помещены в сосуд с влагой, выжатой из свежесрубленной березовой древесины [2]. К электродам подключали микроамперметр. В момент погружения стального электрода в электролит наблюдался наиболее резкий всплеск тока. С течением времени величина тока в цепи падала, а через 40—50 с стабилизировалась (рис. 1, б). Это явление можно объяснить образованием на поверхности анода пассивирующей пленки, плохо пропускающей электрический ток.

Результаты опытов свидетельствуют также о возможности протекания активных электрохимических процессов за очень короткое время, соизмеримое, например, с временем контакта резца с древесиной при пилении или фрезеровании.

Для выяснения возможности практического использования эффекта, о котором шла речь, в частности, в целях снижения износа инструмента, произведен следующий опыт.

На поперечном суппорте токарного станка было смонтировано устройство, полностью имитирующее режущий узел лущильного станка. Отрезок березового чурака зажимали в шпинделях станка. Поперечный суппорт станка, на котором закрепляли нож и прижимную линейку, имел механическую винтовую подачу. Таким образом обеспечивалось постоянство толщины шпона.

Условия опыта: плотность березовой древесины — 0,6 г/см<sup>3</sup>, влажность — 80%, материал ножа — сталь У8А, угол заострения — 19°, радиус закругления режущей кромки — 2 мкм, угол резания — 20°30', шероховатость режущих граней ножа — в пределах класса  $\nabla 9$  по ГОСТу 2789—73, скорость резания (средняя) — 1 м/с, степень обжима — 20%\*.

Постоянный ток от генератора ПН-125 мощностью 3,1 квт (номинальный ток — 13,5 А, напряжение — 230—300 В) подводился к прижимной линейке — плюс и к лущильному ножу — минус.

Переменными факторами в опытах были: толщина шпона (расчетная) — 0,2—0,3—0,4 мм; напряжение подводимого тока — 100—200—300 В.

Для установления влияния внешнего электрического тока на износ и затупление ножа определяли радиус закругления режущей кромки  $\rho$ , величину фаски на задней грани  $l_{\nu}$ , измеренную в плоскости задней грани, и шероховатость режущей кромки  $H_{кр}$ . Кроме того, измеряли шероховатость поверхности шпона  $H_{max}$  и размерный износ ножа  $\tau$ .

Результаты опытов иллюстрируются кривыми, приведенными на рис. 2, и позволяют сделать следующее заключение.

\* В этой части работы принимал участие инж. Р. Будник.

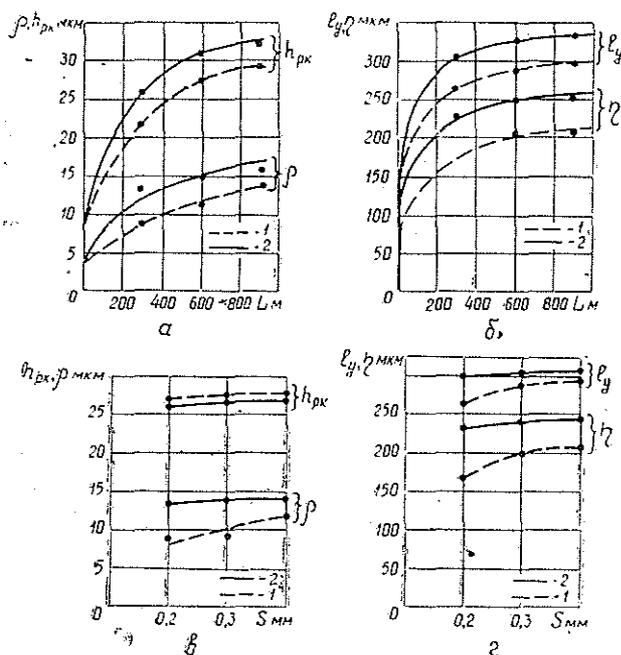


Рис. 2. Влияние электрического тока, наложенного на систему СИД, на величину показателей износа и затупления ножа при лущении шпона.

а — величина радиуса закругления режущей кромки и ее шероховатость в зависимости от пути резания;  $U = 300$  В;  $S = 0,2$  мм; 1 — с током; 2 — без тока; б — величина фаски на задней грани и величина размерного износа в зависимости от пути резания; обозначения те же; в — величина радиуса закругления режущей кромки и ее шероховатости в зависимости от толщины шпона;  $U = 300$  В;  $L = 300$  м; обозначения те же; г — величина фаски на задней грани ножа и величина размерного износа в зависимости от толщины шпона;  $U = 300$  В;  $L = 300$  м; обозначения те же.

1. Наложение внешнего тока на систему СИД при лущении шпона способно привести к снижению всех показателей износа и затупления ножей.

2. Величина уменьшения показателей износа и затупления зависит от величины подведенного напряжения и толщины шпона. С увеличением напряжения или с уменьшением толщины шпона износостойкость ножей повышается. При этом снижается и величина шероховатости шпона. Так, например, при подведенном напряжении 300 В и толщине шпона 0,2 мм размерный износ ножа снизился на 24% по сравнению с износом ножа, работающего без тока, радиус закругления режущей кромки уменьшился на 30%, величина фаски на задней грани — на 14%, шероховатость режущей кромки — на 11%, а шероховатость поверхности шпона — на 21%.

В машиностроении наложение внешнего электрического тока на систему СИД уже находит себе применение (электромеханическая обработка металлов). Не исключена такая возможность и в некоторых процессах механической обработки древесины, если будут найдены условия для повышения ее электропроводимости, снижения напряжения подводимого тока до безопасных пределов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Алексеев А. В. Влияние электрических явлений, возникающих при резании древесины на износ инструмента. — «Деревообрабатывающая промышленность», 1957, № 8. [2]. Алексеев А. В. О некоторых свойствах отвержденных клеев и слоистой древесины, влияющих на износ режущего инструмента. — Научные труды ЛТА им. Кирова, 1972, № 146. [3]. Калинин Д. М. Режущий инструмент в деревообработке. Гослестехиздат, 1935. [4]. Кивимаа Е. Was ist die Abstufung der Holzbearbeitungswerkzeuge. — Holz als Roh und Werkstoff, 1952, № 11.

Поступила 29 сентября 1976 г.

УДК 536.24 : 674.815-41

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА В ПЛОТНОМ СЛОЕ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ

А. Н. ОБЛИВИН, Г. Н. АФАНАСЬЕВ

Московский лесотехнический институт

Приведены результаты лабораторных исследований по де-лигнификации древесины сибирской лиственницы натронно-кислородным способом с применением метода многофакторного планирования эксперимента.

Дальнейшее усовершенствование и разработка новых технологических процессов горячего прессования древесностружечных плит усложняется отсутствием методов расчета этих процессов.

В работе [4] предложена система уравнений для расчета распределения температуры, влажности и парогазового давления в древесностружечном пакете при его контактном нагреве. Решение этой системы уравнений возможно численным методом при наличии способов расчета объемных коэффициентов тепло- и массообмена в слое древесных частиц.

Использование результатов исследований [5, 9, 12, 13] по переносу энергии и массы вещества в слое частиц правильной геометрической формы для решения системы уравнений, предлагаемой в [4], затруднительно, так как структура слоя и форма частиц оказывают определенное влияние на значения экспериментально определяемых коэффициентов тепло- и массообмена [6].

В данной работе предлагаются результаты экспериментального определения объемных коэффициентов тепло- и массообмена в плотном слое из древесных частиц. Исследование проводили на экспериментальной установке (рис. 1), описание работы которой, конструкция и назначение узлов, система измерения изложены в [1].

В статье введены следующие обозначения:

$P$  — аналог пористости слоя;

$d$  — коэффициент температуропроводности,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$C_p$  — удельная теплоемкость,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;

$D$  — коэффициент диффузии,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$d_э$  — эквивалентный диаметр, м;

$G$  — плотность массового потока,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$K$  — коэффициент проницаемости,  $\text{м}^2$ ;

$L$  — высота слоя, м;

$\Delta P$  — падение давления в слое, Па;

- $r$  — удельная теплота испарения, Дж·кг<sup>-1</sup>;  
 $S$  — сечение пористого слоя перпендикулярно потоку, м;  
 $T$  — температура, К;  
 $V_{\text{пор}}$  — объем пор в слое, м<sup>3</sup>;  
 $W$  — скорость испарения воды с поверхности частиц, кг·с<sup>-1</sup>;  
 $\alpha_V$  — объемный коэффициент теплообмена, Вт·м<sup>-3</sup>·К<sup>-1</sup>;  
 $\beta_V$  — объемный коэффициент массообмена, с<sup>-1</sup>;  
 $\varepsilon$  — пористость;  
 $\lambda$  — коэффициент теплопроводности, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  
 $\mu$  — динамическая вязкость, Па·с;  
 $\rho$  — плотность, кг·м<sup>-3</sup>;  
 1 — на входе;  
 2 — на выходе;  
 п — паров воды;  
 нп — на поверхности раздела твердое тело — газ;  
 см — паровоздушной смеси;  
 сл. ч. — слоя из древесных частиц;  
 усл. — условная древесинного вещества.

Исследовали слои, состоящие только из одной фракции частиц и смеси фракций. Применяли частицы фракций 10/7, 7/5, 5/3. Пористость слоя характеризовалась аналогом пористости  $P = \rho_{\text{сл.ч}} / \rho_{\text{усл.}}$ . В процессе эксперимента в периоде постоянной скорости сушки измеряли  $G$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_{\text{нп}}$ ,  $\rho_{\text{п1}}$ ,  $\rho_{\text{п2}}$ . Значение  $\rho_{\text{п2}}$  определяли по значению температуры поверхности частицы  $T_{\text{нп}}$  с помощью психрометрических таблиц с учетом поправки на давление [8]. Обработку экспериментальных результатов проводили по следующей методике.

Скорость испарения воды с поверхности частиц в период постоянной скорости сушки определяли по зависимости

$$W = \frac{GS_T}{\rho_{\text{см}}} (\rho_{\text{п2}} - \rho_{\text{п1}}).$$

Объемные коэффициенты теплообмена и массообмена рассчитывали из балансовых уравнений теплообмена

$$W [r + C_p (T_2 - T_{\text{нп}})] = \alpha_V V_{\text{пор}} \Delta T$$

и массообмена

$$W = \beta_V V_{\text{пор}} \Delta \rho_{\text{п}}.$$

Движущие силы переноса тепла —  $\Delta T$  и массы —  $\Delta \rho_{\text{п}}$  определяли при условии полного вытеснения. При этом, если

$$\frac{T_1 - T_{\text{нп}}}{T_2 - T_{\text{нп}}} > 1,7; \quad \frac{\rho_{\text{п1}} - \rho_{\text{п2}}}{\rho_{\text{п1}} - \rho_{\text{п2}}} > 1,7,$$

то

$$\Delta T = \frac{(T_1 - T_{\text{нп}}) - (T_2 - T_{\text{нп}})}{\ln \frac{T_1 - T_{\text{нп}}}{T_2 - T_{\text{нп}}}};$$

$$\Delta \rho_{\text{п}} = \frac{(\rho_{\text{п1}} - \rho_{\text{п2}}) - (\rho_{\text{п1}} - \rho_{\text{п2}})}{\ln \frac{\rho_{\text{п1}} - \rho_{\text{п2}}}{\rho_{\text{п1}} - \rho_{\text{п2}}}};$$

если

$$\frac{T_1 - T_{\text{нп}}}{T_2 - T_{\text{нп}}} < 1,7; \quad \frac{\rho_{\text{п1}} - \rho_{\text{п2}}}{\rho_{\text{п1}} - \rho_{\text{п2}}} < 1,7,$$

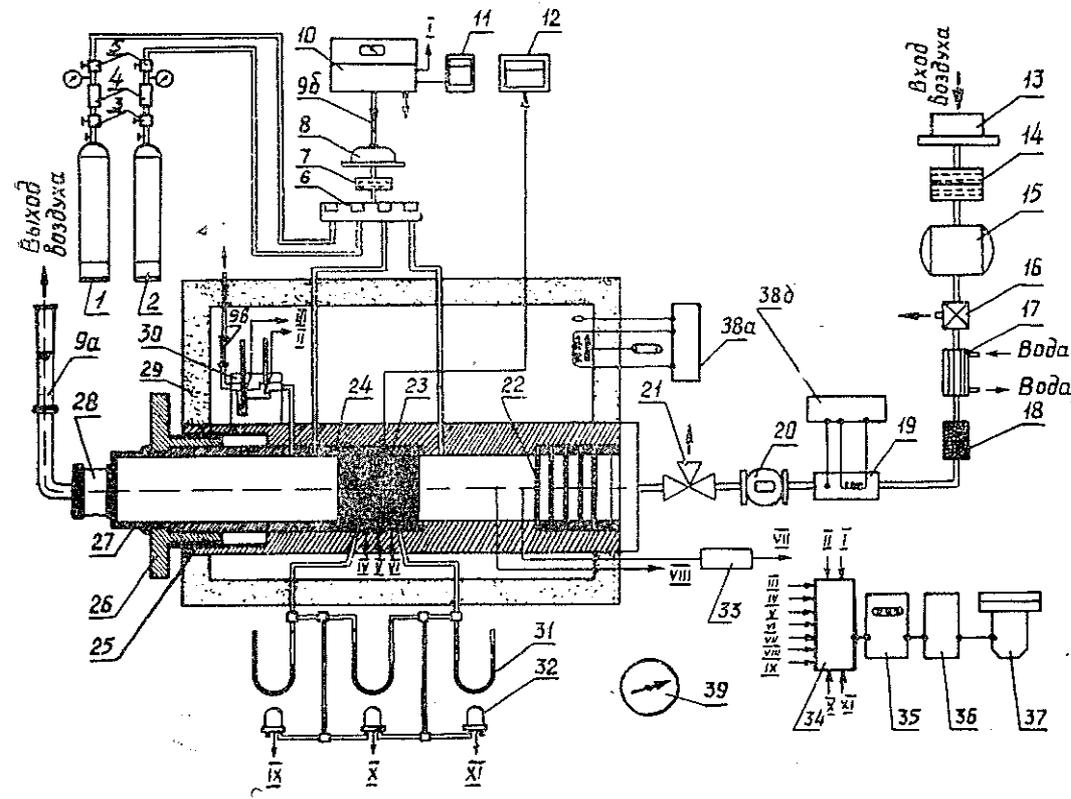


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 — баллон с  $N_2$ ; 2 — баллон с  $N_2 + CH_4$ ; 3 — редуктор; 4, 7, 14 — фильтры; 5 — дроссельный кран; 6 — газовый коммутатор; 8 — вибронасос; 9а, 9б, 9в — ротаметры; 10 — газоанализатор URAS-2T; 11 — самописец газоанализатора; 12 — самописец температуры поверхности частицы; 13 — воздуходувка; 15 — ресивер; 16 — регулятор расхода газа; 17 — блок охлаждения воды; 18 — блок сушки газа; 19 — подогреватель; 20 — газовый счетчик; 21 — трехходовой кран; 22 — решетки в рабочем участке; 23 — кассета с исследуемым слоем древесных частиц; 24 — уплотнения; 25 — рабочий участок; 26 — поворотная гайка; 27 — подвижная труба; 28 — сильфон; 29 — термостат; 30 — устройство с сухим и смоченным термометрами; 31 — манометры жидкостные; 32 — датчики давления; 33 — термоанемометр; 34 — коммутатор электрических сигналов; 35 — многопериодный микровольтметр; 36 — преобразователь кода; 37 — цифровпечатное устройство; 38а, 38б — электронные блоки пропорционального регулирования температуры; 39 — барометр-анероид.

то

$$\Delta T = \frac{(T_1 - T_{нп}) + (T_2 - T_{нп})}{2};$$

$$\Delta p_n = \frac{(\rho_{нп} - \rho_{п1}) + (\rho_{нп} - \rho_{п2})}{2}.$$

Окончательную обработку проводили в виде зависимостей  $Nu_V = F(Re_K)$  и  $Sh_V = F(Re_K)$ , в которых

$$Nu_V = \frac{\alpha_V d_3^2}{\lambda}; \tag{1}$$

$$Sh_V = \frac{\beta_V d_3^2}{D}; \tag{2}$$

$$Re_K = \frac{G d_3}{\mu}. \tag{3}$$

Возникает вопрос, каким образом определить характерный размер для слоя плоских древесных частиц. Используемый большинством исследователей  $d_s$ , выраженный определенным образом через размер частицы для слоев из сфер, колец Рашига, седел Берля и т. п. [11] или для пористых тел из спеченных металлических порошков [3], применить для плоских древесных частиц не представляется возможным. Разнообразие форм и размеров древесных частиц, используемых для прессования древесностружечных плит, в случае определения  $d_s$  через размер и форму частиц потребовало бы нахождения целого ряда коэффициентов форм частиц. В работах [2, 10] обработка экспериментальных данных тепло- и массообмена проводилась с использованием выражения.

$$d_s = \sqrt{K} = \sqrt{G_{\mu} L / \rho_{\text{см}} \Delta P}.$$

На основании экспериментального исследования в [7] для слоя плоских древесных частиц предложен метод расчета  $K$  в зависимости от ряда факторов, характеризующих древесностружечный пакет. Этот метод использован в настоящей работе при определении  $K$ , а затем

$$d_s = \sqrt{K}.$$

Результаты экспериментального исследования представлены на рис. 2 и 3. Расслоения экспериментальных точек в зависимости от аналога пористости и фракций частиц обнаружить не удалось. Для исследованных диапазонов изменения  $\Pi$  и фракционного состава предлагаются обобщающие критериальные уравнения тепло- и массообмена:

$$\text{Nu}_V = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{Re}_K^{0,49}; \quad (4)$$

$$\text{Sh}_V = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{Re}_K^{0,49}; \quad (5)$$

Диапазон изменений чисел  $\text{Re}_K$  от  $7 \cdot 10^{-3}$  до  $2,4 \cdot 10^{-1}$ .

Исследования экспериментально подтвердили аналогию процессов тепло- и массообмена в слое плоских древесных частиц

$$\frac{\text{Nu}_V}{\text{Sh}_V} = 1,166.$$

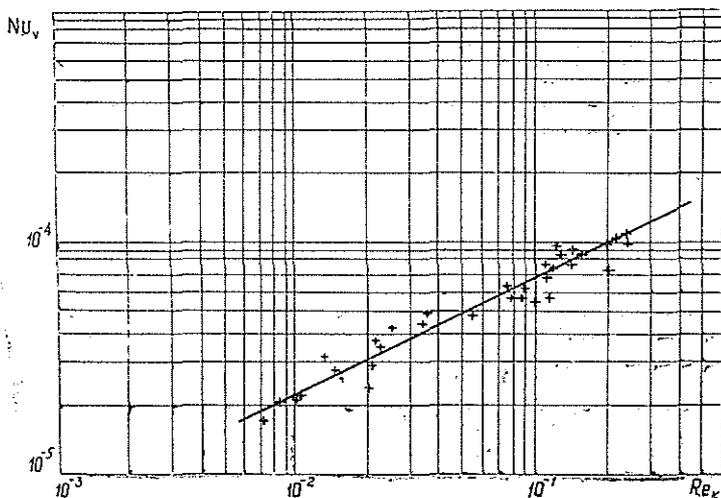


Рис. 2. Экспериментальная зависимость  $\text{Nu}_V = F(\text{Re}_K)$ .  
Обобщающее уравнение  $\text{Nu}_V = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{Re}_K^{0,49}$ .

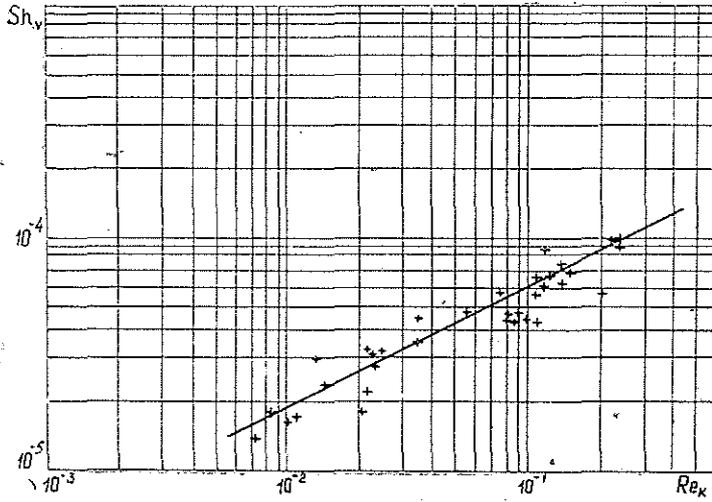


Рис. 3. Экспериментальная зависимость  $Sh_V = F(Re_K)$ . Обобщающее уравнение  $Sh_V = 1,8 \cdot 10^{-4} Re_K^{0,49}$ .

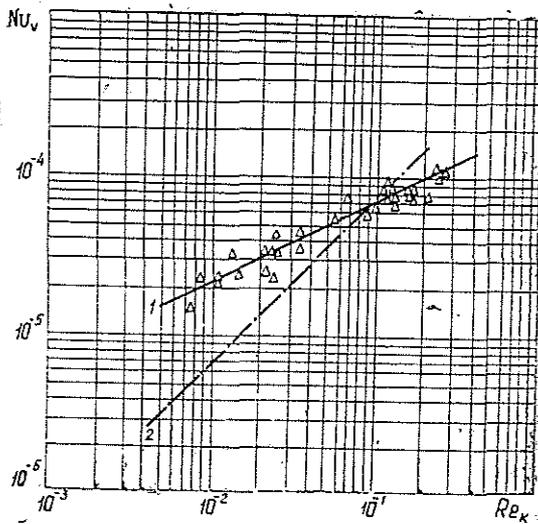


Рис. 4. Сравнение экспериментальных результатов данной работы с результатом [2].

1 — наше обобщающее уравнение  $Nu_V = 2,1 \cdot 10^{-4} Re_K^{0,49}$ ; 2 — обобщающее уравнение [2] для пористого тела из металлического порошка Ni (80%) и Cr (20%)  $Nu_V = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{\epsilon} Re_K^{0,49}$ ;  $\epsilon = 0,3$ .

Полученные результаты сравнивали с результатами исследования теплообмена при высокочастотном нагреве пористых образцов, получен-

ных методом спекания порошков Ni (80%) и Cr (20%). Для проведения сравнения обобщающее уравнение [2] пересчитано по отношению к объему пор.

Совпадение пределов изменения  $Nu_V$  в исследуемом диапазоне  $Re_K$  позволяет допустить целесообразность применения  $\sqrt{K}$  в качестве характерного размера для слоя из древесных частиц. В этом случае  $d_s = \sqrt{K}$  определяется не только параметрами слоя, т. е. размерами и формой частиц, степенью шероховатости поверхности частиц, но учитывает и гидродинамическую картину течения в пористом слое, которая в определенной мере зависит от структуры парового пространства.

На основании исследования предлагается метод расчета  $\alpha_V$  и  $\beta_V$  в древесностружечном пакете. Расчет следует проводить в такой последовательности:

- а) установить исходные данные;
- б) по методике [7] определить  $K$ ;
- в) определить  $d_s = \sqrt{K}$  и  $Re_K$ ;
- г) по уравнениям (1), (2), (4), (5) рассчитать  $\alpha_V$  и  $\beta_V$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Афанасьев Г. Н. — Труды МЛТИ. Сер. технологии древесных пластиков и плит, 1976. [2]. Дезидерьев С. Г., Каримова А. Г., Локай В. И. — ИВУЗ, «Авиационная техника», 1975, № 3, с. 36—39. [3]. Ерошенко В. М., Яскин А. А. — ИФЖ, 1976, 30, № 1, 5. [4]. Обливин А. Н., Купцова В. С. — ИФЖ, 1976, 30, № 3. [5]. Обливин В. Н., Афанасьев Г. Н. — В сб.: Вопросы теплопередачи. Материалы научного семинара. М., 1976, с. 5. [6]. Обливин А. Н., Афанасьев Г. Н. — Труды МЛТИ. Сер. технологии древесных пластиков и плит, 1975. [7]. Обливин А. Н., Долглицев А. З. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1976, № 2. [8]. Психрометрические таблицы. Л., Гидрометеониздат, 1972. [9]. Barker J. — Ind. Eng. Chem, 1965, 57, 43. [10]. Rai P. — Int. Jour. Heat and Mass Transfer, 1975, 18, 623. [11]. Hlavacka S. — Strojirenstvi; 1972, 22, № 1, 53. [12]. Uradhaya S. Sci. and Ind. Res, 1975, 34, № 1, 10. [13]. Viktorin Z. — Zdravotni technika a vzduchotechnika, 1968, 11, № 6, 321.

Поступила 22 ноября 1976 г.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 668.473 : 634.986

ВЛИЯНИЕ НЕОМЫЛЯЕМЫХ ВЕЩЕСТВ  
НА КАЧЕСТВО ТАЛЛОВЫХ ПРОДУКТОВЕ. А. ДЕМЧЕНКО, В. Е. КОВАЛЕВ, Н. П. МАРКОВА,  
В. Б. НЕКРАСОВА

Ленинградская лесотехническая академия

Показано содержание неомыляемых веществ в сульфатном мыле, талловом масле и продуктах его ректификации для ряда отечественных ЦБК. Описана возможность облагораживания сульфатного мыла и дана сравнительная характеристика талловых продуктов, полученных из сырого и облагороженного сульфатного мыла.

В процессе сульфатной варки древесины образуется сульфатное мыло, содержащее 10—30% неомыляемых веществ; количество их зависит, в основном, от видовой специфичности перерабатываемого сырья и достигает максимума при варке лиственных пород.

Повышенный интерес к неомыляемым веществам сульфатного мыла обусловлен, главным образом, их отрицательным влиянием на качество талловых продуктов.

Имея весьма широкий диапазон температур кипения, неомыляемые вещества загрязняют фракции жирных и смоляных кислот, так как в процессе сушки и ректификации таллового масла взаимодействуют с жирными и смоляными кислотами, образуя практически нелетучие эфиры. Это снижает выход перегоняемых фракций и приводит к необходимости ужесточения условий ректификации, что, в свою очередь, вызывает нежелательные процессы термического декарбоксилирования смоляных кислот (дополнительный источник загрязнений кислотных фракций) и полимеризации наиболее ненасыщенных жирных кислот [5].

В связи с увеличением объемов переработки лиственной древесины содержание неомыляемых веществ в сульфатном мыле повышается, что резко обостряет проблему получения высококачественных талловых продуктов [10—11].

В то же время 20—40% неомыляемой фракции составляют стеринны — биологически активные вещества, которые могут быть выделены из мыла и применены в медицине и пищевой промышленности [6, 9].

В табл. 1 и 2 приведены средние данные распределения неомыляемых веществ и фитостерина в лесохимических продуктах, вырабатываемых рядом отечественных комбинатов. Обследование проводили в течение 1971—1976 гг. Данные получены при анализе 3—6 одноименных образцов и двух параллельных определениях для каждого.

Образцы в количестве 1—10 кг отобраны сотрудниками ЦЗЛ комбинатов и ЛТА. Лесохимические продукты анализировали по известным методикам [3]. Фитостерин кристаллизовали из этанольных растворов неомыляемых фракций. Непредельные стеринны выделяли из фитостерина через комплексы с дигитонином (за исключением мыла Сыктывкарского ЦБК, в котором содержание непредельных стериннов определяли непосредственно в неомыляемой фракции).

Из данных табл. 1 следует, что сульфатное мыло (кроме мыла Сыктывкарского ЦБК) содержит более 3% фитостерина и может быть использовано в качестве сырья для его выделения по способу

Таблица 1

Комбинат	Содержание, % к сухому сульфатному мылу		
	неомыляемых веществ	фитостерина	непредельных стерфинов
Архангельский	18,80	2,89	2,34
Братский	16,10	4,86	3,89
Измайльский	20,05	3,30	1,89
Кехраский	16,57	2,95	2,06
Котласский	17,60	5,36	3,74
Соломбальский	17,98	3,52	2,64
Сыктывкарский	22,70	0,77	—
Херсонский	17,63	5,14	4,12

Таблица 2

Наименование продукта	Котласский ЦБК [4]		Братский ЛПК [2]		Соломбальский ЦБК	
	Неомыляемые вещества, %	Фитостерин, %	Неомыляемые вещества, %	Фитостерин, %	Неомыляемые вещества, %	Фитостерин, %
Талловое масло	23,01	5,50	19,20	5,24	17,00	3,17
Легкое масло	60,52	Нет	46,30	Нет	38,20	Нет
Дистиллированное масло	5,93	Следы	14,00	"	8,98	"
Жирные кислоты	5,20	Нет	5,10	"	5,01	"
Смоляные кислоты	8,43	Следы	6,80	"	6,06	Следы
Талловый пек	38,92	10,71	37,70	7,54	35,20	9,00

ЛТА [1]. Мыло Сыктывкарского ЦБК, несмотря на достаточно высокое содержание непредельных стерфинов, не может быть переработано по методу ЛТА, так как стерфиновая фракция этого мыла лишь частично кристаллизуется из спиртовых растворов. В табл. 2 приведены данные о содержании неомыляемых веществ и фитостерина в талловых продуктах отечественных комбинатов.

При ректификации таллового масла фитостерин концентрируется в пеке, а неомыляемые вещества — в легком масле и пеке. Но, как показано в табл. 2, в остальных продуктах переработки таллового масла — жирных и смоляных кислотах, представляющих наибольший промышленный интерес, содержание неомыляемых веществ превышает допустимые пределы [2, 4]. Следовательно, даже частичное выделение неомыляемых веществ из сульфатного мыла должно способствовать повышению качества талловых продуктов.

Разработанный в ЛТА и проверенный в производственных условиях способ получения фитостерина-сырца [1] позволяет удалить лишь небольшую часть неомыляемых веществ — около 15—20% их содержания в сульфатном мыле. Авторы способа стремились получить концентрат, наиболее удобный для выделения из него  $\beta$ -ситостерина и осветленного фитостерина. Степень облагораживания сульфатного мыла в то время не принималась во внимание. Однако учитывая, что при обработке сульфатного мыла по способу ЛТА происходит, наряду с частичным выделением неомыляемых веществ, практически полное удаление лигнина, волокна и прочих механических примесей, представлялось интересным установить влияние этой обработки на качество таллового масла.

Основной недостаток способа ЛТА — необходимость выдерживания спирто-водных растворов сульфатного мыла в течение 72 ч при 13—16°C для завершения кристаллизации фитостерина-сырца. В целях

уменьшения длительности этой операции мы проверили вариант кристаллизации при пониженных температурах. При этом длительность кристаллизации можно уменьшить до 24 ч.

Способ ЛТА и его модификации применимы для переработки сульфатного мыла от варки древесины хвойных пород, а также хвойных с примесью лиственных. Мы проверили и более универсальный способ выделения неомыляемых веществ, пригодный для сульфатного мыла от варки не только хвойной, но и чисто лиственной древесины, — экстракцию неомыляемых веществ из сырого сульфатного мыла. В последние годы метод экстракции рассматривается как наиболее перспективный [8].

В наших опытах неомыляемые вещества извлекали бензином с использованием в качестве дезмульгатора оводненного этанола. При этом около 90% неомыляемых веществ переходило в экстракт (табл. 3).

В опытах по определению влияния способа облагораживания на качество талловых продуктов было использовано сульфатное мыло, отобранное на Соломбальском ЦБК в количестве 10 кг в феврале 1974 г. и в количестве 20 кг в феврале 1975 г. Из исходного и облагороженного сульфатного мыла были получены образцы таллового масла.

Как и следовало ожидать, наибольшая степень облагораживания сульфатного мыла достигается при экстракции неомыляемых веществ. Сравнительная характеристика образцов таллового масла дана в табл. 3.

Таблица 3

Метод облагораживания сульфатного мыла	Выход таллового масла, % к сухому сульфатному мылу	Сумма жирных и смоляных кислот	Окси-продукты	Неомыляемые вещества	Фитостерин
1974 г.					
Исходное мыло	75	79,5	5,9	10,7	4,13
Кристаллизация по способу ЛТА		81,6	7,1	8,2	
1975 г.					
Исходное мыло	77,4	68,5	8,1	19,9	4,22
Экстракция	70,2	84,3	5,7	2,1	0,14
Кристаллизация по способу ЛТА и в его модификации	77,4	67,2— 79,4	4,7— 6,0	10,1— 12,0	Следы— 0,82

Примечание. Способ ЛТА позволяет предварительно отделить более 80% инокрустов.

Образцы таллового масла, полученные при различных условиях, подвергнуты вакуумным разгонкам при температуре 160—286°C и остаточном давлении 1—3 мм рт. ст. Как показали проведенные опыты, выход дистиллата из облагороженного таллового масла выше, чем из сырого, на 10—18%, а выход пека — ниже на 10—13% (табл. 4).

Результаты анализа продуктов вакуумной разгонки дистиллированного масла и пека представлены в табл. 5. Из облагороженного таллового масла получены более качественные дистиллированные продукты за счет снижения в них содержания неомыляемых веществ. Это особенно отчетливо наблюдается для продуктов из мыла, облагороженного экстракцией (табл. 5).

Таблица 4

Талловое масло из сульфатного мыла	Дистиллированное масло	Пек	Потери
	% к талловому маслу		
Исходного	56,7	35,7	7,6
Облагороженного экстракцией	74,2	22,0	3,8
Облагороженного кристаллизацией по методу ЛТА	66,4	32,3	1,3
Облагороженного низкотемпературной кристаллизацией	72,3	23,3	4,4

Примечание. Приведены средние данные из трех параллельных разгонок.

Таблица 5

Метод облагораживания сульфатного мыла	Фракция таллового масла	Сумма жирных и смоляных кислот, %		Неомыляемые вещества, %		Фитостерин, %		Окиспродукты, %	
		к фракции	к талловому маслу	к фракции	к талловому маслу	к фракции	к талловому маслу	к фракции	к талловому маслу
Исходное мыло	Дистиллированное масло	70,69	44,60	9,04	5,14	0,81	0,46	0,08	0,05
	Пек	42,31	15,14	44,20	15,81	17,80	6,35	7,50	2,68
Экстракция	Дистиллированное масло	81,57	60,51	0,95	0,71	0,03	0,02	0,01	0,01
	Пек	28,82	6,40	29,90	6,59	0,69	0,15	16,50	3,63
Кристаллизация по способу ЛТА и в его модификации	Дистиллированное масло	72,54— 85,73	48,22— 5,60	2,74— 5,60	1,84— 2,74	0,95— 1,68	0,63— 1,23	0,01— 4,71	0,01— 3,40
	Пек	30,71— 41,27	9,64— 10,10	40,53— 42,41	9,41— 13,71	6,35— 12,30	1,48— 3,98	11,50— 18,35	3,72— 4,26

Примечание. Средние данные из двух параллельных определений.

Проведенные исследования показывают, что получение талловых продуктов хорошего качества из мыла с высоким содержанием неомыляемых веществ возможно в случае предварительного облагораживания сульфатного мыла.

Следовательно, технологические схемы переработки сульфатного мыла, включающие выделение неомыляемых веществ, будут иметь явное преимущество перед существующей технологией.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Агранат А. Л. и др. Некоторые результаты работы опытно-промышленной установки получения фитостерина. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1968, № 2. [2]. Борисова Н. Н. и др. Содержание неомыляемых веществ и фитостерина в талловых продуктах Братского ЛПК. — В сб.: Химия и химическая технология древесины, вып. 2, СТИ, Красноярск, 1974, с. 46—50. [3]. Богомолов Б. Д., Соколова А. А. Побочные продукты сульфатно-целлюлозного производства. М., Гослесбумиздат, 1962, с. 296—308. [4]. Воднева Т. В. и др. Содержание неомыляемых веществ и фитостерина в талловых продуктах Котласского ЦБК. — В сб.: Использование биологически активных веществ дерева. Рига, «Зинатне», 1973, с. 49—53. [5]. Зандерман В. Природные смолы, скипидары, талловое масло. М., «Лесная промышленность», 1964, с. 442—451. [6]. Некрасова В. Б. и др. Способы производства диетических муцино-кондитерских изделий. Авт. свид. № 414989 от 18/X-1973. [7]. Особенности очистки таллового масла из сосны и березы. — «Лесохимия и подсочка», реф. информация, 1974, № 2, с. 15 из «Kemian Teollisuus», 1972, № 10. (Шв.). [8]. Патент США № 3803114. Способ получения талловых продуктов, не содержащих неомыляемых веществ. — «Лесохимия и подсочка», реф. информация, 1975, № 6, с. 15. [9]. Петрова Н. П. и др. Лечение больных коронарным атеросклерозом ситостерином, введенным в пищевые продукты. — Материалы III научной конференции по проблеме «Значение жира в питании», ч. II (продолжение). М., Минпищепром СССР, 1969, с. 237—240. [10]. Перспективы производства канифольно-скипидарной продукции. — «Лесохимия и подсочка», реф. информация, 1975, № 7, из «Pulp und Papier», 1975, № 1, с. 74—75. [11]. Узлов Г. А., Жукова И. П. Баланс сырья и продуктов на установках для ректификации таллового масла. — «Гидролизная и лесохимическая промышленность», 1973, № 2, с. 12—13.

Поступила 13 мая 1976 г.

УДК 658.562.3 : 676.1

### О ВОЗМОЖНОСТИ ОДНОПАРАМЕТРОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Б. П. ЕРЬХОВ, А. П. ПЛОТНИКОВ, А. Ю. СТАШКЯВИЧУС

Ленинградская лесотехническая академия

На примере «тетра-пака» показана рассчитанная с помощью ЭВМ «Минск-222» тесная корреляция между разрушающими (разрывной груз) и неразрушающими (динамический модуль сдвига и скорость акустического сигнала) параметрами.

Для контроля качества целлюлозно-бумажной продукции весьма заманчива перспектива использования какого-либо одного показателя, наиболее чутко и объективно реагирующего на структурные изменения в процессе изготовления материала.

В этой статье излагаются результаты фронтального сопоставления наиболее перспективных неразрушающих методов контроля качества целлюлозно-бумажных материалов: метода крутильных колебаний на низких частотах [1—2] и акустического метода на частотах в десятки килогерц [3—4].

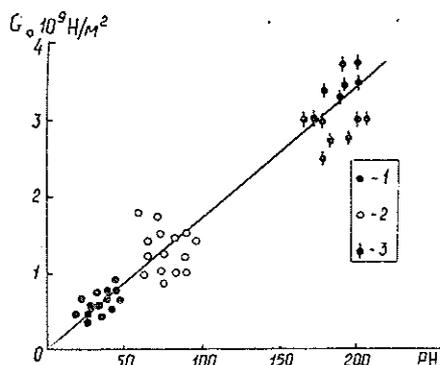
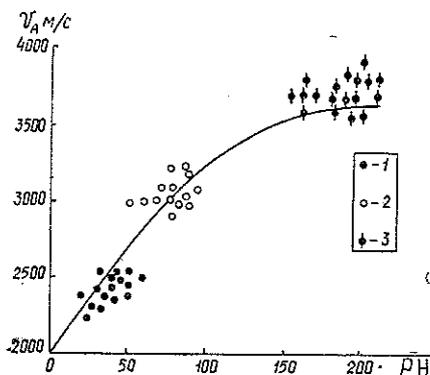


Рис. 1. Корреляционная зависимость между динамическим модулем сдвига  $G_0$  и разрывным грузом  $P$  для «тетра-пака».

1 — поступающая масса; 2 — масса из напорного ящика; 3 — машинное направление.

Рис. 2. Корреляционная зависимость между скоростью акустического сигнала  $V_A$  и разрывным грузом. Обозначения те же, что на рис. 1.



Объектом исследования была выбрана бумага — основа для «тетра-пака», выпускаемая Сыктывкарским ЛПК.

В течение одного квартала было произведено три отбора (около 300 образцов) «тетра-пака» из поступающей массы, массы из напорного ящика и образцов готовой продукции продольного и поперечного направлений.

Динамический модуль сдвига и гостированные показатели определяли на СЛПК, а скорость акустического сигнала — на анизотропиметре Каунасского политехнического института типа UG AM-2.

Так как отбор производственных образцов производился в течение длительного времени, естественно было предположить широкую вариацию физико-механических свойств исходной массы и различных технологических параметров: степени помола, концентрации, рН среды, расхода химикатов, вакуума отсасывающих ящиков, давления на прессах и в каландрах, скорости машины и т. д. Действительно, все перечисленные параметры менялись в весьма широких пределах. Очевидно, что при принятии на производстве технологии осуществлять волевое ее изменение представляется трудной задачей. Поэтому на первом этапе необходимо было ориентироваться на самопроизвольные флуктуации технологических параметров, а уже после установления надежных парных корреляций в пределах зафиксированных вариаций определять намечающиеся тенденции, ведущие к оптимизации технологии. Такой

подход с большей надежностью позволит рекомендовать то или иное аргументированное изменение технологии.

На рис. 1 и 2 для одного из отборов представлены корреляционные зависимости между динамическим модулем сдвига  $G_0$  и скоростью акустического сигнала  $V_A$ , с одной стороны, и разрывным грузом  $P$ , с другой. Корреляционные графики построены по сопряженным точкам без учета образцов поперечного направления, для которых величины всех трех параметров могут быть определены по значению соответствующего коэффициента анизотропии в плане листа.

Анализ результатов, представленных на рис. 1 и 2, позволяет прийти к следующим выводам.

1. Установлена достаточно тесная корреляция между разрушающими и неразрушающими показателями «тетра-пака» на всех трех стадиях технологического процесса: поступающая масса, масса из напорного ящика и готовая продукция. Это означает, что неразрушающие показатели, являющиеся функциями многих технологических параметров и их неконтролируемых отклонений в процессе производства, надежно фиксируют изменения макроструктуры «тетра-пака». А так как корреляции прослеживаются до конечного продукта, то можно надеяться, что при принятой на СЛПК технологии номинальные неразрушающие параметры поступающей массы обеспечат необходимое качество готовой продукции.

2. Из всех трех корреляционных зависимостей наиболее показательна зависимость  $G_0 = f(P)$ , так как она исходит из начала координат и физически более обоснована.

Зависимость  $G_0 = f(V_A)$  лишена этого преимущества, а график  $V_A = f(P)$  имеет криволинейный характер и может рассматриваться в качестве экспериментально найденной тарировочной кривой.

3. Анализ гистограмм трех показателей показывает, что они изменяются симбатно. Сводные данные по всем трем отборам представле-

Таблица 1

Номер отбора	Коэффициент анизотропии		
	$K_{G_0}$	$K_{V_A}$	$K_P$
I	1,35	1,69	2,20
II	1,30	1,78	2,20
III	1,35	1,65	2,20

ны в табл. 1, в которой приведены коэффициенты анизотропии ( $K_{G_0}$ ,  $K_{V_A}$ ,  $K_P$ ), рассчитанные по средним значениям динамического модуля сдвига  $G_0$ , скорости акустического сигнала  $V_A$  и разрывного груза  $P$ , всех испытанных образцов машинного и поперечного направлений по формуле

$$K_n = \frac{П_{\text{прод}}}{П_{\text{попер}}}, \quad (1)$$

где  $П_{\text{прод}}$  — соответствующий осредненный параметр для всех образцов продольного направления;

$П_{\text{попер}}$  — соответственно — для поперечного направления.

Из табл. 1 следует, что коэффициенты анизотропии, измеренные крутильным и акустическим методами, близки друг к другу, а коэффициенты анизотропии по разрывному грузу больше первых двух адеструк-

тивных коэффициентов. Воспроизводимость по всем трем отборам очень хорошая.

В качестве иллюстрации малой чувствительности к структуре готового «тетра-пака» других гостированных характеристик на рис. 3 приведено поле точек сопряженных значений динамического модуля сдвига и сопротивления раздиранию ( $R_a$ ) для всех трех отборов.

Действительно эта характеристика недостаточно репрезентативна к макроструктуре «тетра-пака».

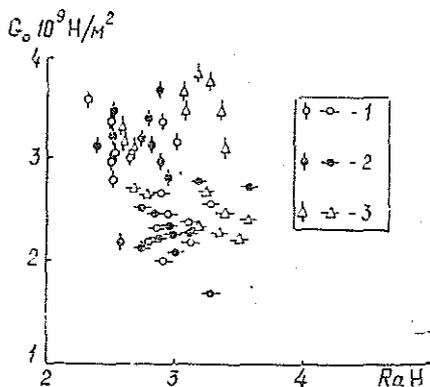


Рис. 3. Поле точек сопряженных значений динамического модуля сдвига и сопротивления раздиранию  $R_a$  для «тетра-пака» по всем трем отборам.

1 — машинное направление и поперечное направление для первого отбора; 2, 3 — соответственно для второго и третьего.

Представленные на рис. 1—3 графики показывают, как, пользуясь методом сравнительного анализа независимых параметров, можно обоснованно выбирать наиболее структурно-чувствительные из них. Для суждения о тесноте исследуемых корреляций в табл. 2 приведены рассчитанные на ЭВМ «Минск-222» коэффициенты корреляций, уравнения регрессии и стандарты для всех трех отборов в отдельности и их совокупности. Анализ этой таблицы позволяет сделать вывод о высокой степени корреляции и воспроизводимости полученных результатов. Обращает на себя внимание, что свободный член зависимости  $G_0 = f(P)$  близок к нулю, т. е. эта линейная зависимость практически идет из начала координат и наиболее физически обоснованна.

Таким образом, попытка фронтального подхода к исследованию в производственных условиях целлюлозно-бумажной продукции тремя независимыми методами испытаний увенчалась успехом. Во-первых, было показано, что все три показателя (динамический модуль сдвига, скорость акустического сигнала и разрывной груз) тесно коррелируют между собой; во-вторых, чувствительность адеструктивных характеристик во всяком случае не ниже разрушающих; в-третьих, неразрушающие параметры исходного продукта (поступающей массы) определяют качество конечного продукта.

После установления вполне надежных корреляций с другими физико-механическими параметрами можно будет в недалеком будущем вообще отказаться от многих стандартных испытаний и по характеру изменения неразрушающих показателей в зависимости от главных технологических факторов аргументированно оптимизировать технологический процесс производства различных целлюлозно-бумажных материалов.

Таблица 2

Номер отбора	Корреляционная зависимость $y = f(x)$	Стандарт		Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции $K$
		$\sigma_y$	$\sigma_x$		
I	$G_0 = f(P)$	$1,14 \cdot 10^9$ H/м <sup>2</sup>	64,2 H	$G_0 = (0,164P + 0,77) 10^8$ H/м <sup>2</sup>	$0,916 \pm 0,02$
	$G_0 = f(V_A)$	$1,14 \cdot 10^9$ H/м <sup>2</sup>	542,5 м/с	$G_0 = (0,019V_A - 41,0) 10^8$ H/м <sup>2</sup>	$0,894 \pm 0,022$
	$V_A = f(P)$	554,8 м/с	64,0 H	$V_A = (1874 + 17,8P - 0,046P^2)$ м/с	$0,92 \pm 0,02$
II	$G_0 = f(P)$	$1,14 \cdot 10^9$ H/м <sup>2</sup>	70,9 H	$G_0 = (0,144P + 2,55) 10^8$ H/м <sup>2</sup>	$0,898 \pm 0,019$
	$G_0 = f(V_A)$	$1,14 \cdot 10^9$ H/м <sup>2</sup>	654,9 м/с	$G_0 = (0,015V_A - 30,8) 10^8$ H/м <sup>2</sup>	$0,870 \pm 0,025$
	$V_A = f(P)$	651,7 м/с	70,3 H	$V_A = (1779 + 18,7P - 0,037P^2)$ м/с	$0,96 \pm 0,01$
III	$G_0 = f(P)$	$1,31 \cdot 10^9$ H/м <sup>2</sup>	75,0 H	$G_0 = (0,170P + 0,59) 10^8$ H/м <sup>2</sup>	$0,975 \pm 0,006$
	$G_0 = f(V_A)$	$1,30 \cdot 10^9$ H/м <sup>2</sup>	600,0 м/с	$G_0 = (0,020V_A - 45,2) 10^8$ H/м <sup>2</sup>	$0,953 \pm 0,011$
	$V_A = f(P)$	603,0 м/с	73,0 H	$V_A = (1820 + 20,4P - 0,052P^2)$ м/с	$0,92 \pm 0,02$
I+II+III	$G_0 = f(P)$	$1,19 \cdot 10^9$ H/м <sup>2</sup>	70,1 H	$G_0 = (0,157P + 1,46) 10^8$ H/м <sup>2</sup>	$0,927 \pm 0,009$
	$G_0 = f(V_A)$	$1,19 \cdot 10^9$ H/м <sup>2</sup>	608,2 м/с	$G_0 = (0,018V_A - 37,0) 10^8$ H/м <sup>2</sup>	$0,894 \pm 0,013$
	$V_A = f(P)$	610,9 м/с	69,0 H	$V_A = (1874 + 17,5P - 0,037P^2)$ м/с	$0,93 \pm 0,01$

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Бадусов А. А., Ерыхов Б. П. Взаимозависимость упругих и прочностных свойств тарного картона. — «Бумажная промышленность», 1973, № 5, с. 14—15.  
 [2]. Брежнева Р. Т., Ерыхов Б. П., Плотников А. П. Применение модуля сдвига для контроля качества продукции. — «Бумажная промышленность», 1975, № 5, с. 16—27. [3]. Кажис Р. Н., Рибикауская А., Сташкявичус А. Ю. Прибор для определения акустических параметров листовых полимерных материалов. — «Ультразвук», 1969, № 2. Вильнюс, «Минтис», с. 51—55. [4]. Сидорченко П. М., Фоменко В. А. Механические и ультразвуковые испытания бумаги. Какой метод лучше? — «Бумажная промышленность», 1972, № 10, с. 22—23.

Поступила 28 декабря 1976 г.

УДК 676.16.022 : 664.728.82

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК СУЛЬФИДА НАТРИЯ  
НА СВОЙСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ  
ПРИ ХОЛОДНОМ ОБЛАГОРАЖИВАНИИ**

*Н. А. МЕЛЬЧАКОВА, Н. А. РУСИНА, З. П. ЕЛЬНИЦКАЯ  
М. И. ЧУДАКОВ, Л. И. ВИНОГРАДОВА, З. Н. НАУМОВА*

Ленинградский технологический институт ЦБП, ВНПОБумпром

Изучено влияние сульфида натрия на свойства целлюлозы при холодном ее облагораживании. Установлено, что добавки сульфида натрия к щелочи значительно влияют на составные структуры целлюлозы.

Исследовали качественные показатели, надмолекулярную структуру и состояние внешней поверхности целлюлозных волокон после холодного облагораживания щелочью с добавками сульфида натрия. В качестве исходной была использована производственная целлюлоза (сульфатная предгидролизная), прошедшая хлорирование, щелочение и гипохлоритную отбелку. Содержание  $\alpha$ -целлюлозы в исходной целлюлозе составляло 95,1%, вязкость 1%-ного медноаммиачного раствора — 330 мП. Облагораживание целлюлозы проводили при концентрации щелочи 90 г/л, температуре 35°C, концентрации массы — 12% и продолжительности 1 ч. К раствору едкого натра добавляли сульфид натрия в количестве 5—30% от расхода щелочи. Для улучшения равномерности обработки целлюлозы облагораживание щелочью проводили в две ступени. Вначале целлюлозу обрабатывали слабым щелочным раствором (40 г/л) в течение 15 мин, затем отжимали и добавляли крепкую щелочь до требуемой концентрации. После холодного облагораживания целлюлозу промывали горячей водой (50°C) и сушили на воздухе. Условия облагораживания и качественные показатели целлюлозы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расход $\text{Na}_2\text{S}$ , % от NaOH	Концентрация при облагораживании, г/л		Содержание $\alpha$ -целлюлозы, %	Вязкость, мП
	NaOH	NaOH + $\text{Na}_2\text{S}$		
0	90	90	97,62	278
5	90	94,4	97,16	215
10	90	99,0	97,39	189
15	90	103,4	96,91	176
20	90	103,0	96,80	181
25	90	112,4	96,69	172
30	90	117,0	96,67	170

Данные таблицы показывают, что различные количества добавок сульфида натрия при облагораживании целлюлозы щелочью одной и той же концентрации (90 г/л NaOH) приводят к снижению содержания  $\alpha$ -целлюлозы. При этом также происходит и снижение вязкости целлюлозы. Чем больше расход сульфида натрия, тем больше снижается вязкость (до 100 мП) и содержание  $\alpha$ -целлюлозы (до 1%). Следовательно

но, на качественные показатели облагороженной целлюлозы влияет состав облагораживающего раствора, т. е. наличие сульфида натрия.

В целях выявления влияния добавок сульфида натрия на структуру целлюлозы по сорбции иода была определена степень кристалличности облагороженной целлюлозы, методом этанолиза до предельной степени полимеризации — состояние ее надмолекулярной структуры, с помощью электронного микроскопа — состояние внешней поверхности волокна. Результаты исследований представлены на рис. 1—3.

Рис. 1. Влияние расхода сульфида натрия при облагораживании целлюлозы на степень ее кристалличности.

При увеличении расхода  $\text{Na}_2\text{S}$  от 5 до 30% происходит снижение степени кристалличности целлюлозы (рис. 1). Однако присутствие даже небольшого количества сульфида натрия (5%) приводит к увеличению степени кристалличности по сравнению с облагороженной щелочью целлюлозой (от 77,5 до 84,7%). Это, по-видимому, можно объяснить более сильным набуханием целлюлозы в присутствии  $\text{Na}_2\text{S}$ , что приводит к большему уплотнению волокна при отмывке щелочи и сушке целлюлозы. Увеличение расхода сульфида натрия способствует еще большему набуханию целлюлозы, в результате которого происходит, вероятно, перераспределение кристаллитов (что подтверждается результатами этанолиза) и снижение общей кристалличности целлюлозы.

Кривые на рис. 2 показывают, что облагораживание целлюлозы в присутствии сульфида натрия приводит к уменьшению боковой упорядоченности целлюлозы — мак-

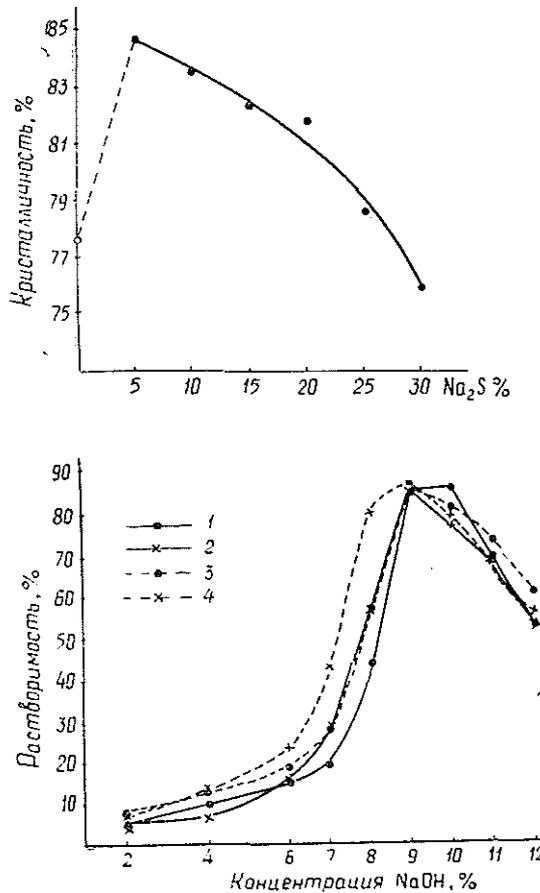


Рис. 2. Влияние расхода сульфида натрия при облагораживании целлюлозы на растворимость остатков после этанолиза.

1 —  $\text{NaOH}$ ; 2 —  $\text{Na}_2\text{S}$  10%; 3 — то же 20%; 4 — 30%.

симальная растворимость остатков после этанолиза наблюдается при более низкой концентрации щелочи (при 9%-ной вместо 10%-ной). При увеличении расхода сульфида натрия от 10 до 30% снижается степень боковой упорядоченности и одновременно повышается неоднородность надмолекулярной структуры целлюлозы — положение кривых при этом сдвинуто в сторону меньших концентраций щелочи; предельная степень полимеризации целлюлозы снижается с 97 до 80.

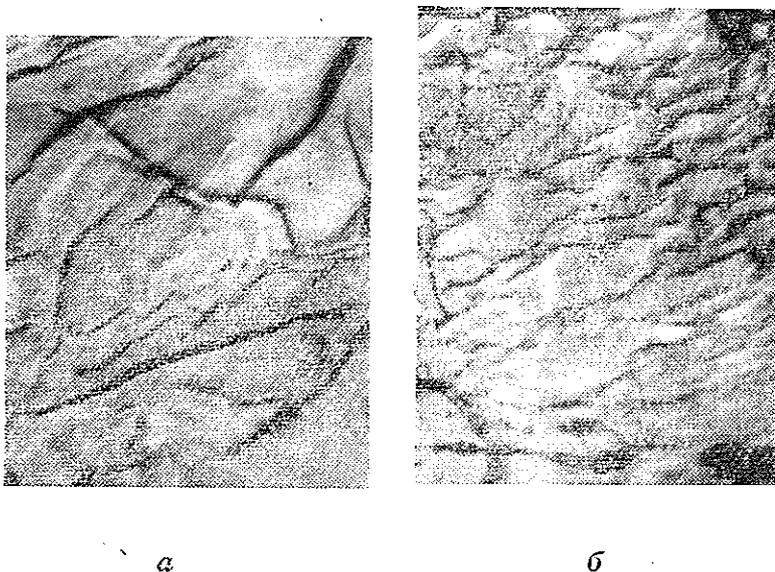


Рис. 3. Электронная микрофотография внешней поверхности целлюлозы, обработанной щелочью (а) и щелочью с 30% сульфида натрия (б).

Электронно-микроскопические исследования показали (рис. 3), что внешняя поверхность целлюлозных волокон, обработанных одной щелочью, заметно уплотнена и разглажена, характерная складчатость поверхности нарушена вследствие сильного набухания внутренних слоев клеточной оболочки, структурные элементы поверхностных слоев плохо просматриваются.

Добавка сульфида натрия при облагораживании приводит к значительному изменению внешней поверхности волокон; появляются четкие, мелкие параллельные складки, лучше просматриваются структурные элементы наружного слоя вторичной оболочки. С увеличением расхода сульфида натрия до 30% нарушается параллельность складок с одновременным появлением поперечной полосатости. В этом случае, вследствие более сильного набухания, в волокне возникает большое внутреннее напряжение, которое приводит к образованию на поверхности продольных и поперечных трещин.

Из изложенного следует, что добавки сульфида натрия к щелочи при облагораживании целлюлозы существенно влияют на состояние ее тонкой структуры. Причем, чем выше процент добавки сульфида натрия, тем большие изменения происходят в структуре целлюлозы: снижается кристалличность, уменьшается боковая упорядоченность, увеличивается неоднородность надмолекулярной структуры с одновременным снижением предельной степени полимеризации; вследствие сильного набухания поверхность волокна значительно нарушается. Одновременно происходит снижение содержания  $\alpha$ -целлюлозы и вязкости.

Поступила 28 июня 1976 г.

УДК 676.15/16

## РЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЛОКНИСТОЙ СУСПЕНЗИИ ДРЕВЕСНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Н. Н. КАЛИНИН, А. И. КИПРИАНОВ, М. А. СИДОРОВ,  
Ю. В. ХРАМОВ

Ленинградская лесотехническая академия

На основании результатов экспериментальных исследований предложена гипотеза о существовании трех реологических моделей движения в круглых трубах волокнистых суспензий древесного происхождения в зависимости от диапазона концентрации последних.

Большое разнообразие идеализированных реологических моделей неньютоновских жидкостей объясняется попытками создать универсальную модель однородных жидкостей различной структуры. Реологическое поведение гетерогенных неньютоновских жидкостей определяется не только скоростью сдвига, но и концентрацией дисперсной фазы, которая может быть не одинакова по сечению потока. Физическая структура волокнистой суспензии древесного происхождения зависит от ряда практически не учитываемых факторов: места и способа получения, степени фибриллизации и флокуляции, продолжительности и условий хранения [3]. Естественно предположить, что влияние этих факторов сильнее ряда теоретических параметров, вводимых в реологическую модель. Это свойство суспензий приводит, с одной стороны, к чрезмерному усложнению модели [2], а с другой — к большому расхождению расчетных величин сопротивлений массопроводов. Например, рассчитанные нами по предлагаемым различными авторами уравнениям потери напора при транспорте суспензии небеленой сульфатной целлюлозы 3%-ной концентрации со скоростью 1 м/с в трубе диаметром 200 мм дали результаты, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Автор или источник расчетного уравнения	Потери напора на 100 м трубопровода, м вод. столба
Л. Е. Волков [1]	9,0
Мэнский университет [8]	5,9
К. Моллер [7]	25,0
Справочник бумажника	12,0

Таким образом, для получения надежных результатов по определению энергетических затрат при транспорте целлюлозно-бумажной массы необходимо установить реологическую модель этой массы в различных диапазонах скоростей сдвига и концентраций.

Из большого количества исследований транспорта волокнистых суспензий наиболее полными и высококачественными считаются результаты, полученные в разное время Брехтом и Геллером [4], Дэрстом и Дженессом [6], Гизе и Янке [5]. Построенные ими S-образные кривые течения: сопротивление как функция скорости движения, — позволяют сделать следующие выводы.

1. Волокнистые суспензии являются неньютоновскими жидкостями, обладающими предельным напряжением сдвига.

2. В зависимости от скорости сдвига наблюдаются три режима движения:

режим, формально отвечающий модели бингамовской жидкости, но сохраняющий прочную неразрушенную волокнистую структуру;

переходный режим, соответствующий поведению псевдопластичной жидкости со свойствами тиксотропии, при этом происходит постепенное разрушение волокнистого стержня;

режим движения полностью разрушенной волокнистой структуры, подчиняющийся гидродинамике зернистого слоя.

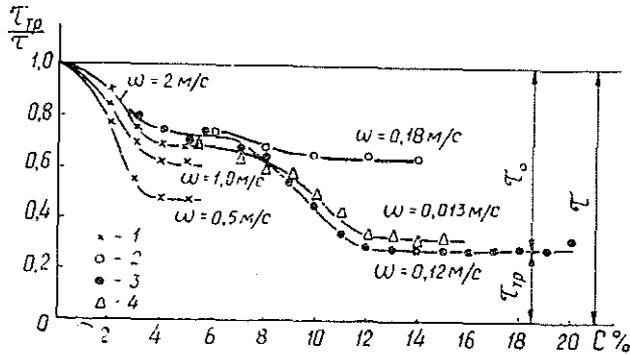


Рис. 1. Изменение соотношения между  $\tau_{тр}$  и  $\tau_0$  в полном напряжении сдвига в зависимости от концентрации суспензии целлюлозы.

1 — кривые, построенные по данным Брегга и Геллера для различных скоростей движения  $\omega$  сульфатной небеленой целлюлозы; 2 — сульфатная беленая смешанная целлюлоза Сыктывкарского ЛПК; 3 — сульфатная небеленая листовая целлюлоза Херсонского ЦБК; 4 — сульфатная небеленая хвойная целлюлоза Братского ЛПК.

Изменение структуры потока в зависимости от концентрации никак не отмечается, что объясняется либо проведением исследований в ограниченном диапазоне концентраций, трудностями экспериментирования, либо необоснованной интерполяцией результатов в область повышенных концентраций.

В целях установления такой зависимости нами проведены замеры сопротивлений промышленных трубопроводов на Херсонском ЦБК и Сыктывкарском ЛПК в диапазоне 3—22%-ных концентраций при постоянных скоростях сдвига. Полученные результаты представлены на рис. 1 в виде зависимости

$$\frac{\tau_{тр}}{\tau} = \frac{\tau - \tau_0}{\tau} = f(C), \quad (1)$$

где  $\tau$  — полное касательное напряжение сдвига, Н/м<sup>2</sup>;  
 $\tau_0$  — предельное напряжение сдвига, Н/м<sup>2</sup>;  
 $\tau_{тр}$  — касательное напряжение трения, Н/м<sup>2</sup>;  
 $C$  — концентрация, %.

$$\tau = \frac{\Delta p d}{4l}, \quad (2)$$

где  $\Delta p$  — сопротивление трубопровода длиной  $l$  и диаметром  $d$ , Н/м<sup>2</sup>.

Предельное напряжение сдвига определяли методом тангенциального смещения пластины. Здесь же приведены результаты Брехта и Геллера\*.

Из рис. 1 видно: заметное увеличение с ростом концентрации волокна доли предельного напряжения сдвига; отсутствие единой реологической модели в различных диапазонах концентраций.

Условно можно выделить три диапазона концентраций, внутри которых суспензия подчиняется определенной закономерности; 1 — 3%, 3 — 10% и свыше 10%, причем на границах диапазонов естественно наличие переходных режимов в области 2—4 и 6—10%. Представление этих же результатов в логарифмических координатах (рис. 2) также свидетельствует об изменении соотношения между  $\tau$  и  $\tau_0$  до 10—11%-ной концентрации и постоянстве его при более высоких концентрациях. На этом основании мы выдвигаем гипотезу о существовании трех реологических моделей волокнистой суспензии, границы которых определяются только концентрацией волокна.

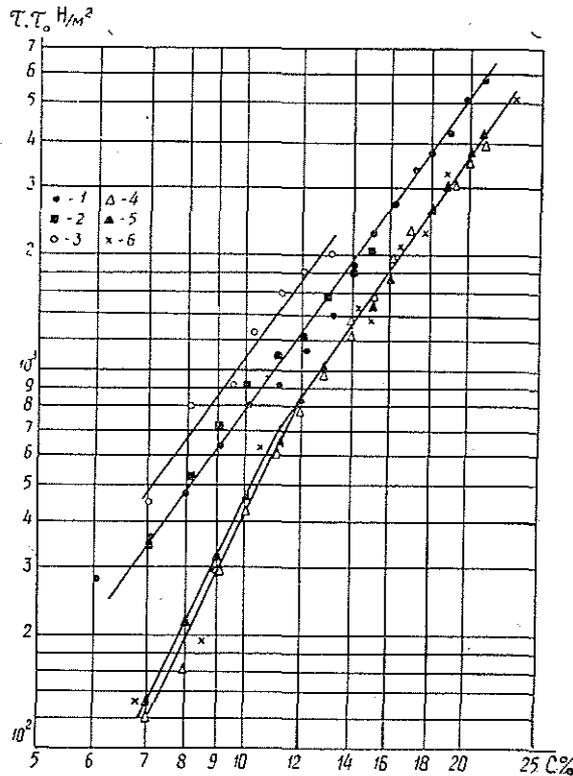


Рис. 2. Зависимость  $\tau$  и  $\tau_0$  от концентрации суспензии целлюлозы.

1, 2, 3 — зависимость  $\tau$  для сульфатной целлюлозы соответственно небеленой лиственной Херсонского ЦБК, небеленой хвойной Братского ЛПК и беленой смешанной Сыктывкарского ЛПК; 4, 5, 6 — зависимость  $\tau_0$  для тех же целлюлоз.

Поведение волокнистых суспензий древесного происхождения концентрацией до 3% можно описать реологическим уравнением

$$\tau = \tau_0 + k (\dot{\gamma})^n, \tag{3}$$

\* Предельное напряжение в этом случае получено интерполяцией кривых течения при нулевой скорости движения.

где  $\dot{\gamma}$  — скорость сдвига,  $\text{с}^{-1}$ ;

$k$  и  $m$  — реологические параметры системы.

В диапазоне концентраций 3—10% при движении суспензий происходит консолидация волокна к центру потока и образование возле стенки водяного кольца, толщина которого определяется скоростью движения, концентрацией суспензии, диаметром трубы и происхождением волокна. Поскольку сдвиг происходит лишь внутри этого кольца, то сопротивление сдвигу определится его гидродинамикой, т. е.

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{\partial \omega}{\partial \delta}, \quad (4)$$

где  $\mu$  — вязкость воды,  $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ ;

$\omega$  — скорость потока,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\delta$  — толщина водяного кольца,  $\text{м}$ .

Косвенное подтверждение линейной зависимости сопротивления движению от вязкости получено проведением серии опытов при различных температурах потока (табл. 2).

Таблица 2

Концентрация суспензии, % мас	Соотношение потерь на трение при температурах потока суспензии 20, 40 и 60°C	Соотношение вязкостей воды при температурах 20, 40 и 60°C
3	1:0,56:0,35	1:0,66:0,47
4	1:0,65:0,46	
5	1:0,70:0,55	
6	1:0,81:0,63	
7	1:0,89:0,80	
8	1:0,98:0,86	
9	1:1,02:0,99	
10	1:1,15:1,17	

С изменением скорости движения массы концентрацией свыше 10% отношение  $\frac{\tau_{тр}}{\tau_0} = \text{const}$ , т. е. сопротивление движению определяется лишь величиной коэффициента трения волокна о стенку трубы, представляющего собой отношение силы трения к силе нормального давления.

Таким образом, для доказательства существования предложенных моделей необходимо определить их параметры в широком диапазоне концентраций и скоростей сдвига, а также величину предельного сдвига и влияние на него различных факторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Волков Л. Е. Потери напора на трение в массопроводах. — «Бумажная промышленность», 1954, № 10, с. 17—19. [2]. Изыксон Б. М., Бабурин С. В., Киприанов А. И. Критериальное описание гидромеханического поведения волокнистой суспензии в массных системах. — Сборник трудов ЦНИИБ, № 10, М., «Лесная промышленность», 1975, с. 202—207. [3]. Рейзинь Р. Э. Упруго-пластические свойства целлюлозных волокон и прочность образуемых ими пространственных структур. — В кн.: Проблемы физико-химической механики волокнистых пористых дисперсных структур и материалов. Рига, «Знание», 1967, с. 241—247. [4]. Brecht W., Heßler H. — «Tappi», 1951, v. 54, p. 180—186. [5]. Giese E., Janke H. — «Zellstoff und Papier», 1973, № 10, s. 295—302. [6]. Jennes L. C., Durst R. E. — «Tappi», 1956, v. 39, № 5. [7]. Moller K., Duffy G. G., Titchener A. I. — «Swensk papperstidning», 1972, v. 75, № 8, p. 311—316. [8]. «Pulp and paper magazin of Canada», 1963, v. 64, № 2, p. 47—52.

Поступила 12 июля 1976 г.



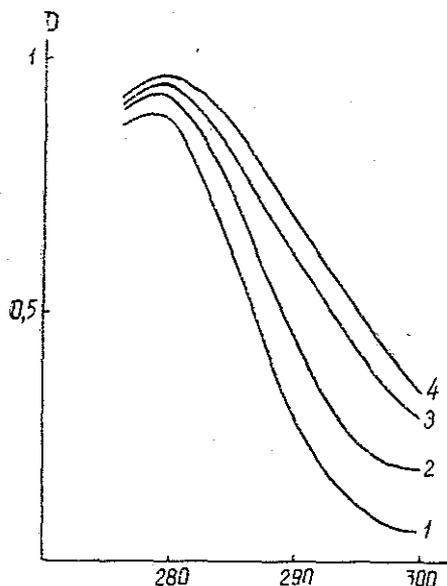


Рис. 1. Кривые поглощения растворов фурфуrolа в бензоле.  
Концентрация трихлоруксусной кислоты ( $M$ ):  
1 — 0,00; 2 — 0,01; 3 — 0,03; 4 — 0,05.

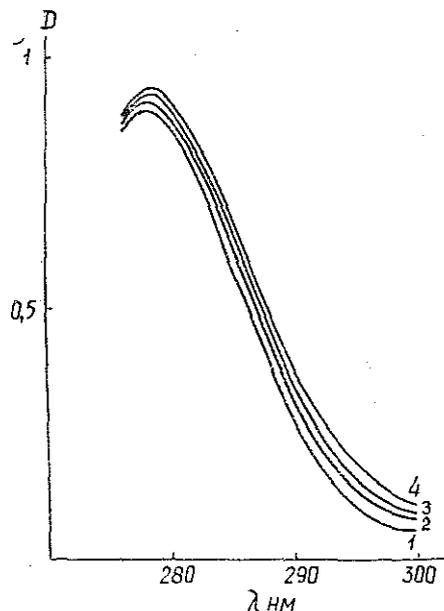


Рис. 2. Кривые поглощения растворов фурфуrolа в бензоле.  
Концентрация монохлоруксусной кислоты ( $M$ ):  
1 — 0,00; 2 — 0,01; 3 — 0,03; 4 — 0,05.

СФ-4А в области спектра 276—300 нм относительно бензола и смеси бензола с трихлоруксусной кислотой при комнатной температуре. Толщина поглощающего слоя — 1 см. Способы очистки и константы исходных веществ приведены в работе [5].

На рис. 1 приведены кривые поглощения растворов фурфуrolа в присутствии различных количеств трихлоруксусной кислоты. Изучение полученных ультрафиолетовых спектров поглощения показывает, что максимумы полос поглощения смесей с увеличением количества трихлоруксусной кислоты смещаются в длинноволновую сторону и при этом наблюдается увеличение интенсивности полосы. Это подтверждает образование водородной связи в данной системе [7—8]. Подобный характер имеют ультрафиолетовые спектры смесей фурфуrolа с монохлоруксусной кислотой (рис. 2). Проведенное нами исследование спектров поглощения смесей фурфуrolа с уксусной кислотой показало, что смещения максимума полосы поглощения и увеличения интенсивности не происходит, что подтверждает данные ИК-спектроскопии [5] об отсутствии комплексов фурфуrolа с уксусной кислотой.

Реакцию образования эквимолекулярного комплекса с водородной связью можно представить уравнением



тогда константа равновесия определяется уравнением

$$K_{ac} = \frac{C_{B \dots HA}}{C_{HA} C_B}. \quad (2)$$

где  $C_{B \dots HA}$ ,  $C_{HA}$ ,  $C_B$  — равновесные концентрации соответственно комплекса, кислоты и фурфуrolа.

Так как состав комплексов фурфурола с хлорпроизводными уксусной кислоты 1:1, а  $C_{HA} \gg C_B$  и соответственно  $C_{HA} \gg C_K$ , то для расчета  $K_{ac}$  можно использовать уравнение Бенеши—Гильденбранда [9]

$$\frac{C_B^0 l}{D_K} = \frac{1}{\epsilon_K} + \frac{1}{K_{ac} \cdot \epsilon_K} \left( \frac{1}{C_{HA}^0} \right), \quad (3)$$

где  $l$  — толщина поглощающего слоя;  
 $\epsilon_K$  — коэффициент экстинкции;  
 $D_K = D - D_0$  — оптическая плотность комплекса.

Рис. 3. График функции (3).

1 — фурфурол — трихлоруксусная кислота; 2 — фурфуролмонохлоруксусная кислота.

При построении графической зависимости  $\frac{C_B^0 l}{D - D_0}$  от  $\frac{1}{C_{HA}^0}$  экспериментальные точки ложатся на прямую линию (рис. 3). Отрезок, отсекаемый этой прямой на оси ординат, дает обратную величину коэффициента экстинкции комплекса —, а тангенс угла наклона прямой

равен  $\frac{1}{K_{ac} \epsilon_K}$ . Применяя результаты измерений  $D_K$  при различных длинах волн, мы рассчитали среднее значение констант равновесия  $K_{ac}$ .

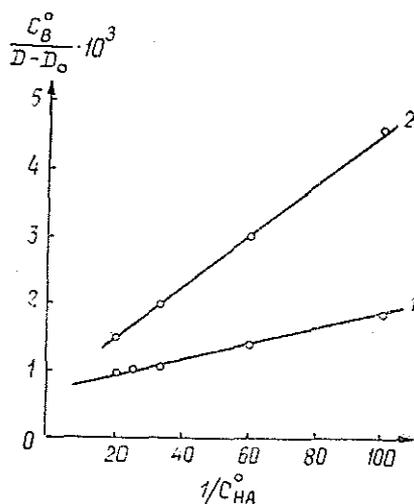
Величины  $K_{ac}$  подвергли статистической обработке с доверительной вероятностью 0,95 (табл. 1). В таблице также приведены константы диссоциации уксусной кислоты и ее хлорпроизводных.

Таблица 1

Донор протона	$K_{ac}$ л · моль <sup>-1</sup>	Константы диссоциации кислот при 25°
CCl <sub>3</sub> COOH	54 ± 2	0,2
CH <sub>2</sub> ClCOOH	18 ± 1,5	1,36 · 10 <sup>3</sup>
CH <sub>3</sub> COOH	0	1,75 · 10 <sup>-5</sup>

Из таблицы видно, что чем больше константа диссоциации кислот, тем больше константа ассоциации образующихся комплексов фурфурола с хлорпроизводными уксусной кислоты.

Из сопоставления рис. 1 и 2 видно, что с повышением константы ассоциации фурфурола с хлорпроизводными уксусной кислоты увеличивается интенсивность полосы в ультрафиолетовом спектре и значительнее происходит смещение полосы в сторону больших длин волн.



## Выводы

1. С помощью спектроскопического метода определены константы образования водородных связей между фурфуролом и хлорпроизводными уксусной кислоты в бензоле. В исследованных тройных системах водородная связь тем прочнее, чем больше константа диссоциации кислот.

2. Интенсивность полосы в ультрафиолетовом спектре и смещение ее в сторону больших длин волн тем больше, чем выше константа ассоциации фурфуrolа с хлорпроизводными уксусной кислоты.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Боховкин И. М., Витман Е. О. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1960, № 5, 169. [2]. Боховкин И. М., Семенов Б. К. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1970, № 2, 108. [3]. Боховкин И. М., Семенов Б. К. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1970, № 3, 96. [4]. Боховкин И. М., Семенов Б. К., Витман Е. О. ЖОХ, 1971, 41, 959. [5]. Боховкин И. М., Семенов Б. К. ЖОХ, 1972, 42, 962. [6]. Боховкин И. М., Семенов Б. К. Авт. свид. СССР № 330180. — «Бюллетень изобретений», 1972, № 8. [7]. Мамедов Ф. Д., Салимов М. А. ЖПС, 1966, 5, 474. [8]. Nagakura S., Vaba H. — J. Amer. Chem. Soc., 1952, 74, 5693. [9]. J. Am. Chem. Soc., 1949, 71, 2703.

Поступила 18 января 1977 г.

УДК 676.16.036.2+676.1.022.131

## НАТРОННО-КИСЛОРОДНАЯ ВАРКА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ЛИСТВЕННИЦЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ НА КИСЛОРОДНОЙ СТУПЕНИ

Б. Е. ФОМИН, И. Е. АРАКИН, Р. З. ПЕН

Сибирский технологический институт, НПОбумпром

Приведены результаты лабораторных исследований по делигнификации древесины сибирской лиственницы натронно-кислородным способом с применением метода многофакторного планирования эксперимента.

Делигнификация древесины кислородно-щелочным способом связана с трудностями, обусловленными ограниченным доступом кислорода к лигнину. При варке хвойной древесины возникают дополнительные затруднения из-за особенностей ее строения и химических свойств [1, 6]. Наибольшие осложнения возникают при варке древесины лиственницы, массообменные процессы в которой сильно затруднены вследствие высокой ее плотности. Наиболее перспективным представляется двухступенчатый процесс, при котором кислородная ступень следует после натронной обработки и дефибрирования полупроваренной щепы [2]. Настоящая статья посвящена исследованию, математическому моделированию и оптимизации этого процесса.

Объектом исследования служила щепа, полученная из древесины лиственницы сибирской на рубительной машине; содержание водозэкстрактивных веществ 10,1%, лигнина — 28,3%, влажность около 10%.

Первую ступень варки проводили с 4%-ным раствором едкого натра при гидромодуле 5 и температуре 170°C в стационарном литровом автоклаве, погруженном в глицериновый термостат. Продолжительность подъема температуры от комнатной до конечной 2 ч, срок стоянки при конечной температуре изменяли в зависимости от требуемого выхода полуцеллюлозы после первой ступени. Полученную полупроварен-

ную щепу промывали водой и подвергали полумассному размолу в лабораторном дисковом рафинере Спрут—Вальдроп с диаметром дисков 300 мм.

Вторую, кислородную ступень варки проводили в 4-литровом автоклаве в среде газообразного кислорода и водного раствора кальцинированной соды. Интенсивное перемешивание твердой, жидкой и газообразной фаз осуществляли путем качания автоклава в вертикальной плоскости с частотой 26 кол/мин.

На основании имеющейся информации [7], в качестве независимых переменных выбраны следующие факторы и интервалы их варьирования:  $X_1$  — выход массы после патронной ступени варки, % к исходной древесине (55—65);  $X_2$  — температура кислородной ступени варки, °С (140—160);  $X_3$  — продолжительность варки с кислородом при конечной температуре, мин (20—60);  $X_4$  — концентрация кальцинированной соды в варочном растворе, % (0,5—1,0);  $X_5$  — жидкостный модуль кислородной варки (10—20);  $X_6$  — давление кислорода в автоклаве перед началом варки кПа (980—1960). Продолжительность подъема температуры во второй ступени (60 мин) оставалась постоянной во всех опытах.

Переменные факторы варьировали в соответствии с планом Вестгейка второго порядка (37 точек) с ядром планирования в виде нерегулярной 3/8—реплики полного факторного эксперимента типа  $2^6$  [3].

По окончании варки автоклав охлаждали водой, целлюлозу промывали в сееже и размалывали в ЦРА до 60°ШР. Отливки (75 г/м<sup>2</sup>), изготовленные на аппарате Рапид-Кетен, испытывали по ГОСТу 13525—68. Результаты варки оценивали следующими выходными параметрами:  $y_1$  — pH отработанного щелока;  $y_2$  — выход отсортированной целлюлозы, % к исходной древесине;  $y_3$  — выход непровара, % к древесине;  $y_4$  — суммарный выход твердого остатка, % к древесине;  $y_5$  — содержание остаточного лигнина в целлюлозе (сернокислотный метод, модификация Комарова), %;  $y_6$  — вязкость 1%-ного медноаммиачного раствора целлюлозы (после удаления лигнина двуокисью хлора [4]), мПа·с;  $y_7$  — белизна целлюлозы (по ГОСТу 7690—66), %;  $y_8$  — разрывная длина, м;  $y_9$  — сопротивление излому, число двойных перегибов;  $y_{10}$  — сопротивление раздиранию, Н;  $y_{11}$  — сопротивление продавливанию, кПа.

Зависимость выходных параметров от переменных факторов процесса аппроксимировали полиномами второй степени общего вида

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^6 b_i x_i + \sum_{i=1}^6 b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

Статистически значимые коэффициенты регрессии (уровень значимости 5%) приведены в табл. 1. Переменные  $x_i$  в уравнениях (1) кодированы: они связаны с натуральными значениями переменных  $X_i$  следующими соотношениями:

$$x_1 = \frac{X_1 - 60}{5}; \quad x_2 = \frac{X_2 - 150}{10}; \quad x_3 = \frac{X_3 - 40}{20};$$

$$x_4 = \frac{X_4 - 0,75}{0,25}; \quad x_5 = \frac{X_5 - 15}{5}; \quad x_6 = \frac{X_6 - 1470}{490}.$$

В последней строке табл. 1 приведены стандартные ошибки выходных параметров, определенные в отдельной предварительной серии из 16 одинаковых варок.

Наглядное графическое изображение полученных 6-мерных поверхностей отклика, к сожалению, невозможно. Представление о влиянии каждого из переменных факторов на некоторые выходные параметры процесса при неизменных значениях остальных факторов, фиксированных на «основных» уровнях, дают одномерные сечения (рис. 1). Как видно из рисунка, все включенные в исследование переменные факторы в большей или меньшей степени влияют на выход целлюлозы, прочностные ее свойства и глубину делигнификации.

Из числа 37 режимов варки, входивших в план эксперимента, лучшие результаты получены при значениях переменных факторов:  $x_1 = 65\%$ ;  $x_2 = 140^\circ\text{C}$ ;  $x_3 = 60$  мин;  $x_4 = 0,5\%$ ;  $x_5 = 20$ ;  $x_6 = 1960$  кПа. Данные о выходе и свойствах целлюлозы при варке по этому режиму



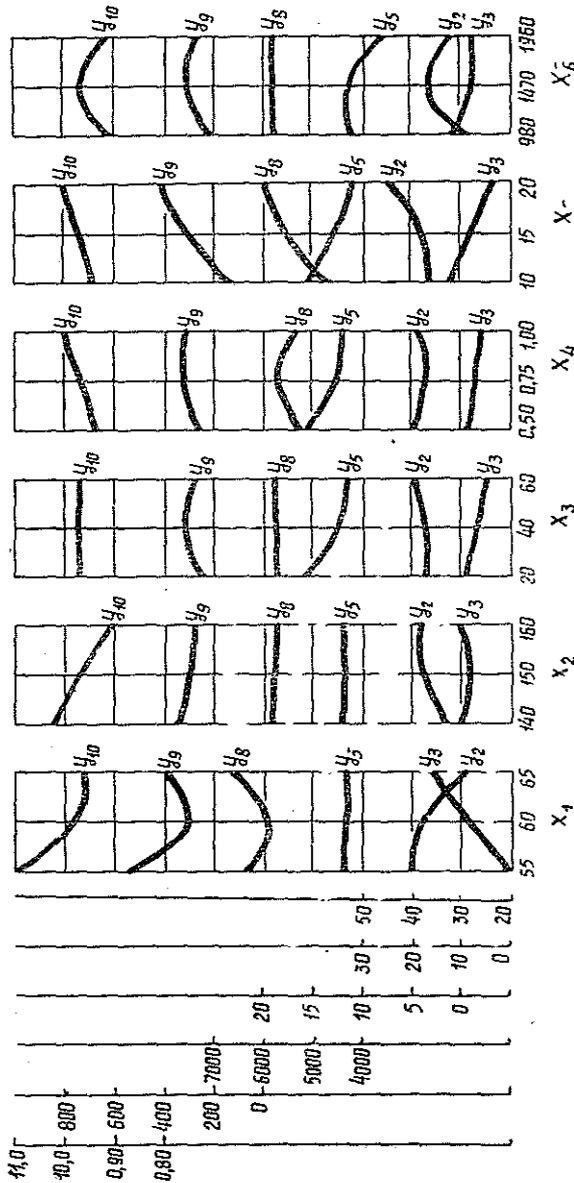


Рис. 1.

Таблица 2

Целлюлоза	Общий выход, %	Лигнин в целлюлозе, %	Разрывная длина, м	Сопротивление		
				излому, число двойных перегибов	пролавлению, кПа	раздиранию, Н
Натронно-кислородная из лиственницы	45,3	9,6	7380	560	350	1,00
Сульфатная из лиственницы	50,0	5,4	7440	947	370	1,90

приведены в табл. 2. В этой же таблице для сравнения показаны свойства сульфатной целлюлозы из древесины лиственницы с содержанием

арабиногалактана 5,1% [5]. Уменьшение выхода примерно соответствует разнице в содержании водозэкстрактивных веществ в исходной древесине. По показателям механической прочности натронно-кислородная целлюлоза лишь немного уступает сульфатной (за исключением сопротивления раздиранию). Приведенный режим натронно-кислородной варки не оптимален. Оптимизация этого процесса с использованием математических моделей (1) рассматривается нами в другой работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Аракин И. Е., Василевская Т. К., Фомин Б. Е. Варка целлюлозы по кислородно-содовому способу. — В кн.: Новое в технологии полуфабрикатов. Материалы советско-канадского симпозиума. М., 1972, с. 79. [2]. Аракин И. Е. и др. Получение небеленой целлюлозы кислородно-содовым способом. — «Бумажная промышленность», 1975, № 9, с. 5. [3]. Горский В. Г., Бродский В. З. Нерегулярные реплики факторного эксперимента. — В кн.: Новые идеи в планировании эксперимента. М., 1969, с. 122. [4]. Оболенская А. В. и др. Практические работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1965, с. 171. [5]. Пен Р. З., Хаустова Л. Г., Иоффе Г. М. Целлюлоза из древесины лиственницы. Сульфатная варка даурской лиственницы. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1970, № 5, с. 85. [6]. Abrahamson K., Samuelson O. Oxygen-alkali cooking of wood meal. II. Experiment of sodium-bicarbonate solution. — Svensk papperstidning, 1972, v. 75, № 21, p. 869. [7]. Carles I. et al. Cuissons à l'oxygene. Partie I—IV. — Revue ATIP, 1973, v. 27, № 2, pp. 139, 147; № 4, p. 315; № 5/6, p. 385.

Поступила 17 января 1977 г.

УДК 674.048 : 547.495.2/4

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ РАСТВОРАМИ МОЧЕВИНЫ

В. А. ШАМАЕВ

Воронежский лесотехнический институт

Показано, что для древесины осины, березы и сосны эффективна пропитка растворами мочевины методом горяче-холодных ванн. Установлено, что количество вводимой в древесину мочевины пропорционально концентрации пропиточного раствора до предела растворимости мочевины в воде.

В целях повышения водо- и влагостойкости и механической прочности древесины широко используется пропитка ее химическими реагентами [4—5]. Известна также пропитка растворами мочевины для придания древесине пластических свойств [1, 6].

Модифицированная мочевиной прессованная древесина имеет высокие показатели физико-механических свойств, и ее можно применять в качестве заменителя древесины дорогостоящих твердолиственных пород, например, в производстве паркета, подшивников [2, 7, 8].

Однако процессы пропитки древесины мягколиственных и хвойных пород мочевиной и ее водными растворами изучены недостаточно. В литературе мы нашли лишь отрывочные сведения по этому вопросу [1, 6].

В данной работе исследовались основные закономерности пропитки цельной древесины осины и сосны растворами мочевины методами горячей и горяче-холодной ванны.

В экспериментах использовали бруски из заболони осины и сосны размером 50×50×180 мм (последний размер вдоль волокон). Бруски пропитывали в 10-, 20- и 30%-ном растворах мочевины методом горячей ванны при 100°C в течение 3—4—5 ч и методом горяче-холодной ванны: 3 ч при 100°C и 10 ч при 20°C. После пропитки

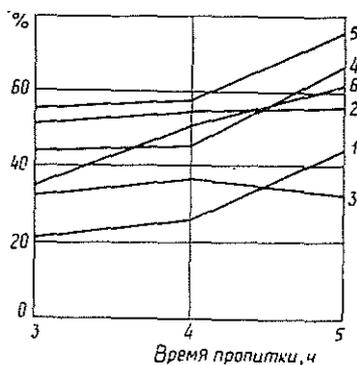


Рис. 1. Зависимость привеса раствора после пропитки от времени пропитки и концентрации раствора мочевины.

1, 2, 3 — сосна, пропитанная соответственно 10-, 20- и 30%-ным раствором мочевины; 4, 5, 6 — сосна, пропитанная соответственно 10-, 20- и 30%-ным раствором мочевины.

одну часть брусков сушили до абс. сухого состояния, другую — разрезали на 9 секций (рис. 2) и высушивали до абс. сухого состояния при  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Критерием эффективности пропитки служил привес раствора мочевины после пропитки. Процент наполнения древесины рассчитывали по формуле

$$V = \frac{p - p_0}{p_0} 100\%,$$

где  $V$  — привес раствора мочевины по отношению к абс. сухой древесине;

$p$  — вес образца после пропитки;

$p_0$  — вес образца в абс. сухом состоянии.

Для определения проницаемости древесины по отношению к мочевины был принят размер образцов  $30 \times 30 \times 10$  мм с целью обеспечения равномерного распределения раствора внутри образца. Пропитку образцов проводили в растворе мочевины концентрацией 10—30—50—70% методом горячей-холодной ванны до полного поглощения и в расплаве мочевины. Образцы после пропитки сушили при температуре  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  до постоянного веса и затем подвергали термообработке при температуре  $170 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 5 ч.

Результаты эксперимента обрабатывали методом вариационной статистики. Надежность полученных результатов обеспечена ( $P < 5\%$ ).

На рис. 1 приведены кривые, показывающие зависимость привеса раствора от времени пропитки и концентрации раствора мочевины.

Как видно из рис. 1, наполнение образцов возрастает с удлинением времени пропитки. Осиневая древесина пропитывается лучше, чем сосновая. Кривые, соответствующие пропитке 20%-ным раствором, лежат выше кривых, соответствующих пропитке 10- и 30%-ным. Следовательно, максимальный привес раствора при одном и том же времени пропитки для обеих пород достигается при 20%-ной концентрации пропиточного раствора. Каждой точке кривой соответствует среднее арифметическое из 6 опытов.

На рис. 1 приведены значения привеса для всего бруска, они не отражают распределения раствора по длине бруска, так как содержание раствора значительно изменяется от торца бруска к середине.

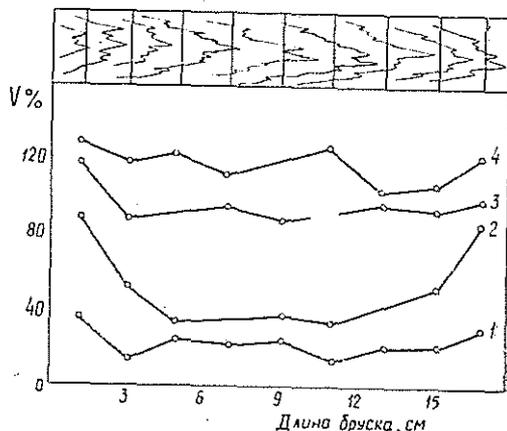


Рис. 2. Влияние способа пропитки и расстояния от торца бруска на процент привеса раствора мочевины.

1 — сосна пропитана методом горячей ванны; 2 — сосна пропитана методом горячей-холодной ванны; 3 — сосна пропитана методом горячей-холодной ванны; 4 — осина пропитана методом горячей-холодной ванны.

На рис. 2 представлено распределение раствора по длине бруска. Как видно из рис. 2, при пропитке методом горячей ванны распределение раствора в бруске неравномерно. Привес раствора внутри образца колеблется от 20% для сосны до 40% для осины.

При пропитке методом горяче-холодной ванны (3 ч горячая и 10 ч холодная) распределение наполнителя практически выравнивается по всей длине бруска и составляет в среднем 90—95 для сосновой и 110—120% для осиновой древесины (рис. 2, кривые 3 и 4). Следовательно, для пропитки древесины осины и сосны растворами мочевины эффективен метод горяче-холодных ванн, при котором раствор мочевины равномерно распределяется по сечению заготовки.

Поскольку молекулы мочевины крупнее молекул воды, то может происходить лишь избирательное проникновение молекул воды в древесину. В таком случае количество вводимой в древесину мочевины было бы непропорционально концентрации раствора.

В табл. 1 приведены данные об увеличении веса образцов по отношению к абс. сухой древесине после пропитки, сушки и термообработки.

Таблица 1

Концентрация раствора, %	Привес раствора и расплава, %, после		
	пропитки	сушки	термообработки
0 (контроль)	110,5	0	0
10	109	9	2,5
30	125	36	24,5
50	125	56	40
70	126	64,5	52
100 (расплав)	120	120	94

После сушки вся влага из древесины удалена и увеличение веса происходит лишь за счет мочевины, находящейся в порах. Как видно из табл. 1, количество мочевины в древесине пропорционально концентрации пропиточного раствора и примерно совпадает с теоретически рассчитанным для 10-, 30- и 50%-ной концентрации растворов и несколько ниже для 70%-ной.

Поскольку привес 70%-ного раствора составляет 126%, то привес мочевины после сушки должен быть 87,5%, а фактически он составил 64,5%, что соответствует концентрации 51,6%-ного раствора. Следовательно, предел наполнения древесины при пропитке насыщенным раствором мочевины уже достигнут, поскольку при комнатной температуре предельная растворимость мочевины в воде составляет 51,6%. Таким образом, количество вводимой в древесину мочевины соответствует концентрации пропиточного раствора до предела растворимости мочевины в воде. Из этого следует, что древесное волокно в одинаковой степени проницаемо для молекул воды и молекул мочевины.

После термической обработки вес образцов, пропитанных мочевиной, уменьшается. Поскольку вес контрольных образцов не изменился, можно предположить, что он уменьшается только за счет разложения мочевины. При термическом ее разложении при 170°C происходит образование биурета, циануровой кислоты и аммелида с выделением аммиака [3].

Из литературных данных [3] следует, что при разложении мочевины с образованием биурета потеря ее массы составит 14,2%, а в

случае перехода мочевины в конечные продукты разложения — циануровую кислоту и аммелид — 28,4%.

Привес мочевины в древесине, пропитанной 10%-ным раствором, составил 9% от веса древесины. После термообработки содержание мочевины уменьшилось с 9 до 2,5%, хотя теоретически оно должно было понизиться до 6,45%. Следовательно, при малой концентрации пропиточного раствора в процессе термообработки имеет место термическое разложение древесины. Термораспад древесины при увеличении содержания мочевины в ней до 25% и выше в процессе термообработки полностью ингибируется и разлагается только мочевина.

Анализ табл. 1 показывает, что уменьшение содержания мочевины после термообработки для древесины, пропитанной 30-, 50-, 70%-ным раствором и расплавом, составляет соответственно 31,9; 28,7; 19,2; 21,7%. Сравнивая эти данные с цифрами, приведенными для термораспада чистой мочевины (14,2 и 28,4%), можно заключить, что в случае пропитки растворами, когда мочевины в древесине содержится 10—56%, термообработка протекает с образованием конечных продуктов — циануровой кислоты и аммелида. При пропитке 70%-ным раствором и расплавом термообработка ведет к образованию не только конечных продуктов, но и биурета.

Ранее было показано, что водо- и влагостойкость модифицированной мочевиной древесины достигаются, когда при термообработке образуются негигроскопичные конечные продукты разложения мочевины — циануровая кислота и аммелид. Исходя из этого рекомендуется 30%-ная концентрация пропиточного раствора.

Таким образом, зная концентрацию раствора мочевины и степень насыщения древесного волокна, можно определять количество вводимого модификатора.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Берлин А. А. Исследования в области химии и технологии облагороженной древесины и древесных пластических масс. М.—Л., Гослесбумиздат, 1950, 273 с. [2]. Ельков Л. В., Шамаев В. А. Рациональное использование мелкотоварной древесины для производства втулок и паркета. — Материалы конференции «Рациональное и комплексное использование древесины в деревообрабатывающей промышленности». Минск, 1974, с. 234—236. [3]. Зотов А. Т. Мочевина. М., Госхимиздат, 1963, 140 с. [4]. Калинин А. И. Химическая пластификация древесины. — «Вестник АН СССР», 1972, № 7, с. 44—48. [5]. Модификация древесины синтетическими полимерами. Минск, 1973, 189 с. [6]. Новожилов В. И. Способ пластификации древесины хвойных пород для изготовления катушек. Авт. свид. № 74011, 30 июня 1947 г. [7]. Шамаев В. А., Ельков Л. В., Самодуров И. С. Некоторые свойства пластифицированной мочевиной прессованной древесины. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 1, с. 92—94. [8]. Шамаев В. А., Ельков Л. В., Попов Н. И. Стабилизация древесины, модифицированной мочевиной. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 5, с. 97—101. [9]. Шамаев В. А., Попова Н. И., Берзиньш Г. В. Химические изменения древесины осины при модифицировании ее мочевиной. — «Химия древесины», 1976, № 4, с. 34—38.

Поступила 14 февраля 1977 г.

УДК 632.95

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ НЕКОТОРЫХ ФТОРОБОРАТОВ  
ДЛЯ ПЛЕНЧАТОГО ДОМОВОГО ГРИБА**

Д. А. БЕЛЕНКОВ, В. А. СЕЛЕЦКАЯ

Уральский лесотехнический институт

Вероятностная оценка токсичности фтороборатов для пленчатого домового гриба и пробит-анализ показали, что токсичность уменьшается в последовательности: фтороборат натрия, меди, трибутиллолова. Эффективность защиты может быть оценена по количеству введенных в древесину фтора и бора.

Одно из наиболее важных свойств антисептиков, определяющих их эффективность при защите древесины от гниения, — токсичность для дереворазрушающих грибов.

Сведения о токсичности фтороборатов для этих грибов весьма ограничены, хотя имеются предложения об их использовании в качестве антисептиков [7].

Была исследована токсичность фтороборатов натрия ( $\text{NaBF}_4$ ), меди  $[\text{Cu}(\text{BF}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$  и трибутиллолова ( $\text{C}_{12}\text{H}_{27}\text{SnBF}_4$ ) для пленчатого домового гриба (*Contiophora cerebella* Shrbet) — распространенного и сильного разрушителя древесины в различных деревянных конструкциях.

Основной задачей было исследовать токсичность фтороборатов на всем диапазоне токсически действующих доз и определить дозы, позволяющие сравнивать антисептики и рассчитывать рекомендуемые для пропитки концентрации растворов.

Токсичность антисептиков оценивали по вероятности защиты древесины от разрушения [1, 4].

Для обработки полученных данных использован пробит-анализ [3].

№ п.п	Серия испытаний	Фтороборат натрия					Фтороборат	
		Концентрация пропиточного раствора, %	Содержание в древесине, %, сухого			Вероятность защиты древесины	Концентрация пропиточного раствора, %	Содержание препарата
			препарата	бора	фтора			
1	I	0,001	0,001	0,000	0,001	0,00	0,015	0,029
	II	0,015	0,029	0,003	0,020	0,02*	0,015	0,029
2	I	0,01	0,013	0,001	0,009	0,01*	0,03	0,059
	II	0,03	0,058	0,006	0,040	0,38	0,03	0,059
3	I	0,025	0,032	0,003	0,022	0,29	0,045	0,088
	II	0,045	0,088	0,009	0,061	0,68	0,045	0,088
4	I	0,05	0,064	0,006	0,044	0,69	0,06	0,118
	II	0,06	0,117	0,012	0,081	0,90	0,06	0,118
5	I	0,1	0,129	0,013	0,089	0,93	0,075	0,147
	II	0,075	0,146	0,015	0,101	0,94	0,075	0,147

\* Условная вероятность, предполагающая, что один образец при испытании по-

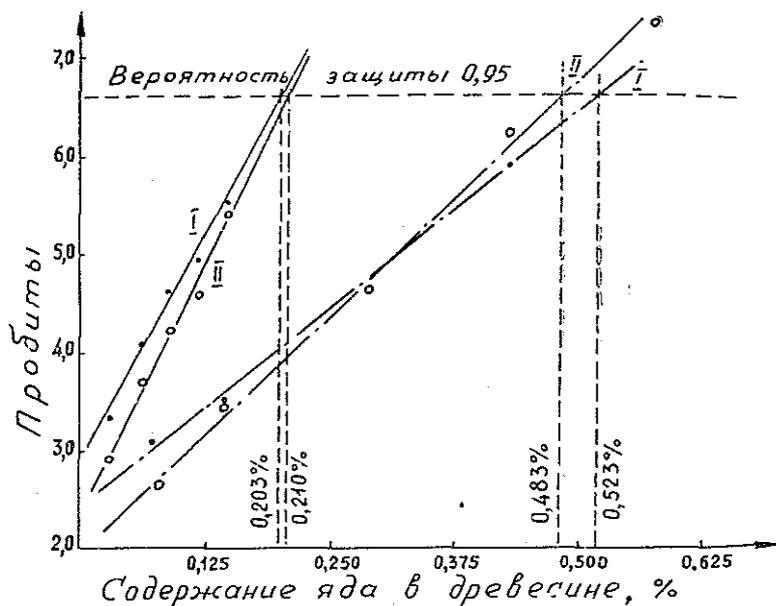


Рис. 1. Пробит-график токсического действия на плечатый домовый гриб фтороборатов меди (сплошная линия) и трибутилолова (штрих-пунктирная линия).

I, II — номера серий испытаний.

Каждое соединение испытано дважды. В табл. 1 приведены данные всех испытаний. Количество в древесине фторобората, фтора и бора выражено в процентах содержания сухого вещества к весу абс. сухой древесины. Содержание сухого антисептика в древесине определено по концентрации пропиточного раствора и поглощению его древесиной.

Таблица 1

меди			Фтороборат трибутилолова				
Содержание в древесине, %, сухого		Вероятность защиты древесины	Концентрация пропиточного раствора, %	Содержание в древесине, %, сухого			Вероятность защиты древесины
бора	фтора			препарата	бора	фтора	
0,002	0,013	0,05	0,01	0,014	0,000	0,003	0,00
0,002	0,013	0,02	0,05	0,072	0,002	0,014	0,01*
0,004	0,026	0,18	0,05	0,072	0,002	0,014	0,03
0,004	0,026	0,10	0,10	0,145	0,004	0,029	0,06
0,006	0,039	0,36	0,10	0,143	0,004	0,029	0,06
0,006	0,039	0,23	0,20	0,290	0,009	0,058	0,36
0,007	0,052	0,48	0,30	0,429	0,013	0,086	0,83
0,007	0,052	0,35	0,30	0,435	0,013	0,087	0,90
0,009	0,065	0,71	0,50	0,715	0,021	0,143	1,00
0,009	0,065	0,67	0,40	0,580	0,017	0,116	0,99*

казал противоположный результат.

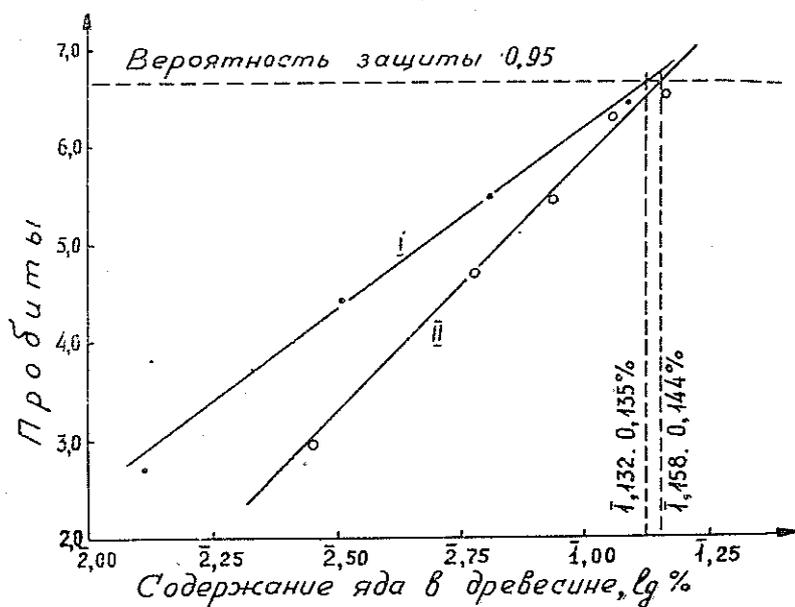


Рис. 2. Пробит-график токсического действия на пленчатый домовый гриб фторобората натрия.

I, II — номера серий испытаний.

Вероятность защиты древесины оценивали по относительному количеству не пораженных после опыта образцов. Для каждой концентрации антисептика испытано 100 образцов.

Основными токсичными элементами фтороборатов являются фтор и бор. Результаты оценки токсичности фтороборатов для пленчатого домового гриба (табл. 1) показывают, что примерно одинаковые уровни вероятности защиты древесины достигаются при различных количествах фтороборатов, но содержание фтора и бора в древесине в этих случаях весьма близко. Это свидетельствует о том, что токсичность фтороборатов для пленчатого домового гриба определяется содержанием в них фтора и бора и что механизм токсического действия на грибную клетку этих элементов, вероятно, одинаков, хотя они находятся в составе различных соединений фтороборной кислоты.

На рис. 1 и 2 приведены графики пробитированных кривых эффекта действия фтороборатов на пленчатый домовый гриб. По этим графикам можно определить дозы фтороборатов, обеспечивающие любую вероятность защиты древесины от разрушения пленчатым домовым грибом. Для вероятности защиты древесины 0,95 дозы показаны на графиках.

Графики пробитированных кривых эффекта близки к прямым. Интересно отметить, что трансформация кривых эффекта в пробит-графики может происходить как по содержанию в древесине сухого препарата в процентах (фтороборат меди и трибутилолова), так и по логарифмам содержания препарата (фтороборат натрия).

То, что реакция одного и того же вида гриба на токсическое воздействие близких по природе соединений в одном случае пропорциональна содержанию в древесине ядовитого вещества, а в другом — ло-

Таблица 2

Препарат	Количество в древесине сухого вещества, % к весу абс. сухой древесины		
	фторобората	фтора	бора
Фтороборат натрия	0,135	0,093	0,014
	0,144	0,099	0,014
Фтороборат меди	0,203	0,089	0,013
	0,210	0,092	0,013
Фтороборат трибутилолова	0,523	0,105	0,016
	0,483	0,097	0,014

Примечание. В числителе результаты первой серии испытаний; в знаменателе — второй.

гарифму содержания, представляет значительный научный и практический интерес. Однако природа этого явления до сих пор не выяснена.

В табл. 2 приведены дозы испытанных фтороборатов и количество фтора и бора в их составе, защищающие древесину от разрушения пленчатым домовым грибом с вероятностью 0,95. Как видно из табл. 2, по эффективности защиты древесины от гниения фторобораты существенно различны. Более эффективен фтороборат натрия, количество которого, защищающее древесину от разрушения с вероятностью 0,95, равно 0,14%; менее эффективен фтороборат меди (0,2%), и значительно хуже защищает древесину от гниения фтороборат трибутилолова (0,5%). Если же защищающую способность фтороборатов оценивать по содержанию в древесине фтора или бора, то между фтороборатами практически нет различий. Следовательно, рекомендуемые для защиты древесины дозы фтороборатов нужно устанавливать с учетом содержания в древесине фтора и бора: те препараты, в которых процентное содержание фтора и бора меньше, должны вводиться в древесину в больших количествах.

Дозы антисептиков, защищающие древесину с вероятностью 0,95, определенные таким же методом, равны для фтористого натрия и кремнефтористого натрия 0,05—0,07% [5—6], хлористого цинка — 0,56, сернокислой меди — 1,8, препаратов ББК-3 — 0,39, МХХЦ — 0,43; ХХЦ — 0,49 и ХМ-5 — 9,2% [6]. Эти данные показывают, что фторобораты относятся к достаточно эффективным защитным средствам, и в ряде случаев, учитывая некоторые особенности этих соединений, им следует отдавать предпочтение.

### Выводы

1. По уменьшению токсичности для пленчатого домового гриба исследованные фторобораты располагаются в такой последовательности: фтороборат натрия, меди и трибутилолова.

2. Для достижения одинаковой эффективности защиты древесины фторобораты должны быть введены в нее в количествах, обеспечивающих одинаковое содержание фтора и бора.

3. По токсичности для пленчатого домового гриба фторобораты натрия, меди и трибутилолова несколько уступают фтористому и кремнефтористому натрию, близки к препаратам ББК-3, ХХЦ, МХХЦ, хлористому цинку, значительно токсичнее сернокислой меди и во много

раз превосходят препарат ХМ-5, который для защиты древесины от грибов, вызывающих деструктивную гниль, не эффективен.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Беленков Д. А. Метод оценки токсичности антисептиков по вероятности защиты древесины. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1966, № 2, с. 94. [2]. Беленков Д. А. К обоснованию наиболее выгодного уровня вероятности защиты древесины для оценки токсичности антисептиков. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1966, № 4, с. 94. [3]. Беленков Д. А. О применении пробит-анализа для оценки токсичности антисептиков на древесине. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1968, № 2, с. 83. [4]. Беленков Д. А. Биологическое обоснование и разработка метода оценки токсичности антисептиков для дереворазрушающих грибов по вероятности защиты древесины. Автореферат докт. дис. М., 1969. [5]. Селецкая В. А., Беленков Д. А. Токсичность антисептиков, содержащих фтор, для плесчатого домового гриба. — Труды УЛТИ, вып. 24, Свердловск, 1971, с. 180. [6]. Созонова В. Н., Беленков Д. А. Оценка токсичности некоторых антисептиков на основе меди, цинка и бора для плесчатого домового гриба (*Contiophora cerebella*). — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1972, № 1, с. 102. [7]. Эрмуш Н. А., Кауфман Б. А., Калниньш А. Я., Апиньс И. В., Мангалс М. Х., Горб С. И. Тетрафторборат аммония и комбинированные составы на его основе как перспективные антисептики для защиты древесины в строительстве. Продукты переработки древесины — сельскому хозяйству, 3. Рига, «Зинатне», 1973, с. 24.

Поступила 12 января 1977 г.

УДК 542.951.1 : 547.458.81 : 676.1.021.3 + 676.1.022.5

### ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПОМОЛА И МЕТОДА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НА СКОРОСТЬ АЦЕТИЛИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Л. Г. ХИЖНЯК, А. В. ФИНКЕЛЬШТЕЙН, А. В. БЫВШЕВ,  
Л. Т. ЗАЛМАН, Т. В. ПОТАПОВА, О. В. ЛАСЫГИНА

Сибирский технологический институт

Изучалась кинетика ацетилирования сульфатной кордной целлюлозы уксусным ангидридом в ледяной уксусной кислоте при 30°C, прошедшей предварительно размол в водной среде в пакетном генераторе. Установлено, что разрушение (удаление) рыхлой фракции минеральной кислотой приводит к постоянному увеличению скорости этерификации с ростом помола.

Как было установлено ранее [6—7], размол древесной целлюлозы в водной среде приводит к уменьшению константы скорости реакции ацетилирования. Скорость ацетилирования падает с ростом помола при этерификации как предварительно высушенных образцов, так и образцов, обезвоженных вытеснением воды ледяной уксусной кислотой.

В литературе имеются сведения о том, что препараты целлюлозы с пониженной плотностью (большой процент аморфной фракции) менее реакционноспособны в таких реакциях, как метилирование [5], сульфирование [1], ацетилирование [8]. Поэтому представлялось интересным сопоставить абсолютные значения и характер изменения величины констант скорости ацетилирования образцов размолотой целлюлозы, обезвоженной различными методами, с образцами, у которых после размола удалена наиболее рыхлая фракция\*.

\* Под выраженным «наиболее рыхлая фракция» подразумеваем ту часть целлюлозы, которая при фибриллировании волокна во время размола отделяется от него в виде мелких фибрилл, образуя мелочь и бесструктурную слизь, и которая удаляется с волокна при кратковременной обработке его разбавленным раствором серной кислоты (0,2 N) при температуре 25°C в течение 15 мин. В дальнейшем мы будем называть эту фракцию «гелеобразной» [8].

## Экспериментальная часть

В данной работе использовали древесную кордную целлюлозу Братского ЛПК, прошедшую размол в водной среде в пакетном гидродинамическом генераторе. Ацетилирование проводили при температуре  $30 \pm 0,1^\circ\text{C}$  и модуле 50. В качестве катализатора использовали хлорную кислоту (0,8% от веса целлюлозы); ацетилирующий агент (уксусный ангидрид) и растворитель (уксусная кислота) взяты в объемном соотношении 60 : 40.

Образцы размолотой целлюлозы перед ацетилированием готовили по следующим схемам:

а) сушка под вакуумом при остаточном давлении  $2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$  в виде отливок при температуре  $20^\circ\text{C}$  над  $\text{CaCl}_2$  с последующим измельчением отливок;

б) обезвоживание вытеснением воды ледяной уксусной кислотой (модуль 100 по абс. сухой целлюлозе), продолжительность обработки 10 мин при интенсивном встряхивании;

в) обезвоживание вытеснением воды смесью ледяной уксусной кислоты и уксусного ангидрида (модуль 115), продолжительность обработки 10 мин в присутствии уксусной кислоты и 5 мин после подачи уксусного ангидрида при интенсивном встряхивании;

г) сначала по схеме «а» и далее обработка 0,2 N раствором серной кислоты при  $25^\circ\text{C}$  в течение 15 мин, промывка до нейтральной реакции, сушка при  $105^\circ\text{C}$ , измельчение отливок.

Подготовленную по одной из перечисленных выше схем целлюлозу в количестве 2 г (в пересчете на абс. сухую) погружали в термостатированную при  $30^\circ\text{C}$  ацетилирующую смесь, состоящую из 60 мл уксусного ангидрида, 40 мл ледяной уксусной кислоты и  $16 \cdot 10^{-3}$  г хлорной кислоты, и выдерживали при этой температуре определенное время. Этерификацию осуществляли в течение 5—180 мин, периодически перемешивая. По окончании этерификации пробу высаживали в ледяную воду, отмывали до нейтральной реакции по метиловому оранжевому и высушивали при  $105^\circ\text{C}$  до постоянного веса. Для снятия одной кинетической кривой ацетилировали 10—15 проб.

Полученную ацетилцеллюлозу анализировали по стандартной методике. Затем по результатам анализа рассчитывали степень этерификации  $\gamma$  (табл. 1). Далее результаты обрабатывали в координатах  $\lg(300 - \gamma)$  — время. Убедившись в том, что экспериментальные точки в указанных координатах удовлетворительно укладываются на прямую и, следовательно, процесс ацетилирования имеет первый порядок по целлюлозе, мы рассчитали константы скорости реакции, обработав результаты методом наименьших квадратов в указанных координатах. Полученные константы представлены на рис. 2 и 3.

Пробное ацетилирование, проведенное на целлюлозе помола  $79^\circ\text{ШР}$  (рис. 1), показало, что эффект удаления «гелеобразной» фракции целлюлозы [8], придающей целлюлозной массе клейкость, очень значителен. Скорость реакции этерификации такого образца равна скорости реакции этерификации образца, из которого вода удалена вытеснением уксусной кислотой. На рис. 2. представлены данные эксперимента для образцов, прошедших перед этерификацией обработку по схемам «а», «б» (температура инклюдирующего агента  $20^\circ\text{C}$ ) и «г». На рис. 3 проведено сопоставление констант скорости ацетилирования для образцов целлюлозы, прошедших перед этерификацией обработку по схемам «а», «б», «в», и «г», при обезвоживании целлюлозы по схемам «б» и «в» температура инклюдирующего агента равнялась  $25^\circ\text{C}$ .

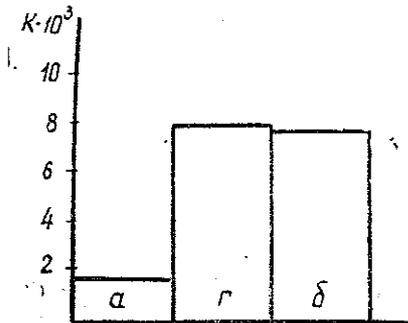


Рис. 1. Изменение констант скорости ацетилирования целлюлозы помола  $79^\circ\text{ШР}$  при различных обработках

а — сушка под вакуумом при  $20^\circ\text{C}$  до  $W = 3,5\%$ ; г — то же с последующим удалением гелеобразной фракции 0,2 н. раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; б — инклюдирование уксусной кислотой при температуре до  $20^\circ\text{C}$ .

Время этерифи- кации, мин	Степень эте					
	Обработка 0,2N раствором H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> в течение 15 мин при 25°C, промывка, сушка при 105°C; при степени помола, °ШР/влажности, %					
	14/4,6	19/4,65	35/4,75	47/4,9	63/4,9	73/4,9
5	—	—	—	—	—	—
10	63	64	64	64	64	65
15	—	—	—	—	—	—
20	68	77	77	73	83	85
25	—	—	—	—	—	—
30	74	88	94	87	104	108
40	82	98	108	99	117	125
50	92	115	121	116	132	140
60	96	123	132	125	145	168
70	—	—	—	—	—	—
80	109	137	152	144	163	183
100	121	156	173	159	206	206
120	137	172	191	177	208	224
140	148	188	219	188	220	240

\* Данные эксперимента для препаратов, подготовленных по схемам «а» и «б»

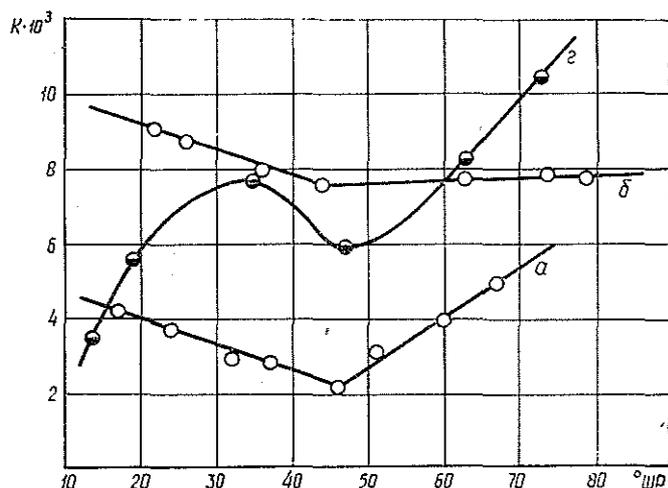


Рис. 2. Зависимость константы скорости реакции ацетилирования от степени помола для образцов, прошедших различную предварительную обработку.

а — сушка под вакуумом при 20°C до влажности ~5%; б — вытеснение воды ледяной уксусной кислотой при температуре до 20°C; в — то же, что и а с последующей обработкой 0,2 н. раствором серной кислоты при 25°C в течение 15 мин, отмывкой и сушкой при 105°C.

Из рис. 2 и 3 видно, что при любом из методов обезвоживания скорость ацетилирования с ростом помола падает, проходит через минимум в области средних помолов, а затем возрастает. Причем, при низких температурах инклюдировочного агента (19—20°C) увеличение константы незначительно (рис. 2, кривая б), минимум приходится на об-

Таблица 1\*

рификации  $\gamma$ 

Инклюдирование ледяной уксусной кислотой при 25°C; при степени помола, °ШР				Инклюдирование смесью ледяной уксусной кислоты и уксусного ангидрида при 25°C; при степени помола, °ШР			
19	35	47	63	19	35	47	63
117	95	88	—	112	—	—	—
118	109	124	133	121	—	114	120
121	121	—	—	—	115	—	—
141	126	146	150	145	128	141	147
151	131	—	—	150	136	—	—
160	142	162	173	161	145	164	169
173	165	181	198	172	154	179	192
188	175	198	214	184	163,5	189	204,5
200	192	213	228	192	170	199	220
205	198	229	233	196	179	209	228
217	204	236	240,5	202	181	218	237
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—

(температура инклюдирующего агента 20°C), см. [6—7].

ласть помолов 40—45°ШР, т. е. находится в той же области, что и при ацетилировании сухих образцов.

При более высоких температурах инклюдирующего агента (25°C) минимум констант сдвинут в область более низких помолов (30—40°ШР), причем обезвоживание ледяной уксусной кислотой приводит

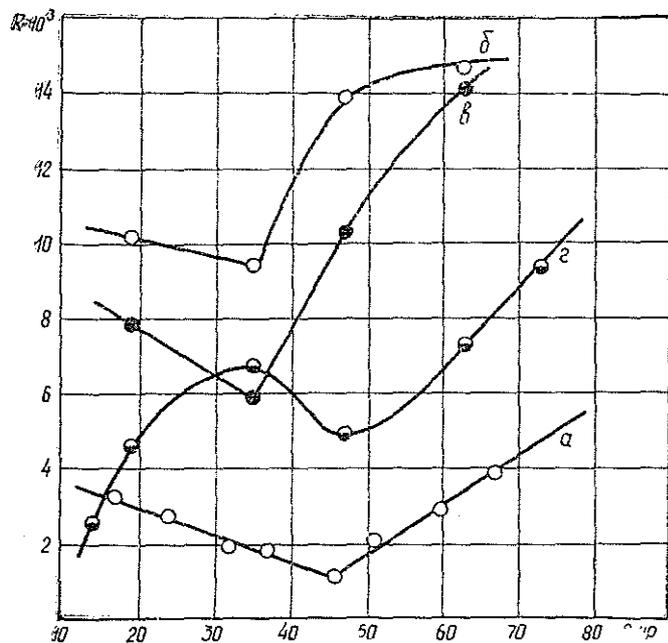


Рис. 3. Изменение константы скорости ацетилирования целлюлозы от степени помола для различных способов предварительной обработки.

а — сушка под вакуумом при 20°C до влажности ~5%; б — вытеснение воды ледяной уксусной кислотой при температуре 25°C; в — вытеснение воды смесью ледяной уксусной кислоты и уксусного ангидрида при 25°C; г — то же, что и а с последующей обработкой 0,2 н. раствором серной кислоты при 25°C в течение 15 мин, отмывкой и сушкой при 105°C.

к большему эффекту повышения скорости реакции, чем обезвоживание смесью уксусной кислоты и уксусного ангидрида, особенно в области низких и средних помолов (рис. 3, кривые б и в). Такое взаимное расположение кривых вполне объяснимо, так как известно, что концентрированные растворы уксусной кислоты при активации целлюлозы перед ацелированием приводят к более резкому повышению ее реакционной способности, чем ледяная уксусная кислота [2]. В нашем случае вытеснение воды из целлюлозы уксусной кислотой и ее смесью с уксусным ангидридом можно рассматривать как кратковременную активацию. При использовании одной уксусной кислоты в результате смешения ее с навеской влажной целлюлозы концентрация последней уменьшалась, а при использовании смеси уксусной кислоты с уксусным ангидридом ее концентрация, наоборот, возрастала.

Только при этерификации образцов, у которых удалена гелеобразная фракция (рис. 2 и 3, кривая г), проявляется положительное действие размола целлюлозы, ее реакционная способность увеличивается. Однако и в этом случае наблюдается аномалия свойств размолотой целлюлозы в области помолов 35—45°ШР. Объяснение этому, видимо, нужно искать в соотношении скоростей роста активной поверхности волокна при размоле, изменении его капиллярной структуры и в количестве гелеобразной фракции целлюлозы.

В интервале помола 20—40°ШР активная поверхность волокна увеличивается очень медленно. Быстро этерифицирующаяся гелеобразная фракция целлюлозы покрывает еще недостаточно развитую поверхность волокна сильно набухшей пленкой ацетилцеллюлозы, затрудняя доступ реагента в глубь целлюлозного препарата. В результате реакционная способность целлюлозы уменьшается. Этому, кроме того, безусловно способствует нарушение капиллярной структуры волокна. При увеличении степени помола выше 40—45°ШР происходит резкое увеличение активной поверхности и влияние гелеобразной фракции падает. Как показали проведенные нами исследования, количество целлюлозной фракции, удаляемой при кратковременной обработке препаратов 0,2 н. раствором серной кислоты, с ростом помола не меняется и оказывается равным 0,10—0,12% от веса целлюлозы. Следовательно, с ростом помола толщина набухшей эфирной пленки, локализованной на поверхности волокна, будет уменьшаться, а значит, будет снижаться ее тормозящее действие в реакции этерификации. При этом константа скорости начинает возрастать.

Разрушение гелеобразной фракции минеральной кислотой приводит к постоянному увеличению скорости этерификации с ростом помола. Некоторое ее падение в области помолов 35—45°ШР можно, видимо, объяснить нарушением капиллярной структуры волокна, имеющего еще недостаточно развитую внешнюю поверхность. Капиллярная структура, как указывает Н. И. Кленкова с соавторами [3—4], имеет фундаментальное значение для протекания массообмена, без которого немислима ни одна гетерогенная реакция.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Васильева О. А. Научные труды ЛТА, Сборник ХПД, 1972, № 152, 69.  
[2]. Кленкова Н. И. — ЖПХ, 1963, 36, 836. [3]. Кленкова Н. И. и др. — ЖПХ, 1963, 36, 166. [4]. Кленкова Н. И., Ивашкин Г. П. — ЖПХ, 1963, 36, 398.  
[5]. Ганичев В. А. Научные труды ЛТА, Сборник ХПД, 1972, № 152, 81. [6]. Хижняк Л. Г. и др. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1972, № 2, с. 120. [7]. Хижняк Л. Г., Финкельштейн А. В. и др. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1976, № 3. [8]. Шарков В. И., Зайонц Е. Г. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1969, № 6, 96.

Поступила 25 июня 1975 г.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 674.047. : 62—52

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ  
ПАРАМЕТРОВ ДРЕВЕСИНЫ В АСУ ТП СУШКИ

А. А. СМЕРНОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Анализируются недостатки известных математических описаний некоторых параметров древесины. Приведены предлагаемые автором математические описания.

В теории и практике сушки древесины используются предложенные П. С. Серговым [2], И. В. Кречетовым [1], Б. С. Чудиновым [4], Г. С. Шубиным [5] и др. графики коэффициентов теплоемкости, теплопроводности, влажностепроводности и иных параметров древесины, построенные на основании экспериментальных или расчетных данных.

Некоторые коэффициенты описаны математически простыми уравнениями. Для расчетов на ЭЦВМ эти уравнения оказались непригодными из-за существенного изменения их погрешности в рабочем диапазоне параметров древесины. К тому же погрешности склонны к перемене знака (плюс на минус и наоборот). Перемена знака погрешности вызывает неправильное (противоположное) срабатывание исполнительных устройств в АСУ ТП сушки древесины.

Автор провел исследования в целях математического описания параметров древесины, свободного от указанных недостатков.

На начальной стадии работы были предложены уравнения [3], которые позволили с точностью  $\pm 3\%$  производить расчеты на ЭЦВМ.

В дальнейшем оказалось, что в широком диапазоне параметров древесины и агента сушки эти уравнения не обеспечивали функционирование АСУ ТП, т. е. не могли быть использованы в АСУ ТП сушки.

Для АСУ ТП сушки древесины на основе применения управляющей ЭЦВМ предлагаются следующие высокоточные уравнения.

Зависимость

$$W_p = f(t_c; \varphi),$$

где  $W_p$  — равновесная влажность древесины, %;

$t_c$  — температура агента сушки по сухому термометру психрометра, °С;

$\varphi$  — относительная влажность (степень насыщенности) агента сушки,

описывается уравнениями, применимыми для древесины различных пород:

а) при  $20 \leq t_c \leq 120^\circ\text{C}$ ;  $0 \leq \varphi \leq 0,5$

$$W_{p, 0,5} = 0,0292 [84,25 (1 + 6,6291\varphi) - t_c^{0,96335} (1 + 2\varphi)] e^{0,0003t_c - 0,01773} - 0,017154\varphi (9,1827 + t_c) + 0,0094124t_c + 0,016191; \quad (1)$$

б) при  $20 \leq t_c \leq 120^\circ\text{C}$ ;  $0,5 < \varphi \leq 0,8$

$$W_{p; 0,8} = W_{p; 0,5} (0,82322 + \varphi^{2,5})^{1,613} [1 + 0,0125 (1 - e^{3,1(0,5 - \varphi)}) (40 - |60 - t_c|)]^{0,15}; \quad (2)$$

в) при  $20 \leq t_c \leq 100^\circ\text{C}$ ;  $0,8 < \varphi \leq 0,95$

$$W_{p; 0,95} = W_{p; 0,8} [1,231^{10,14(\varphi - 0,8) + 1} + 0,4642 (\varphi - 0,8) (0,893 + \varphi^{10})^{1,6} - 0,231]. \quad (3)$$

Зависимость

$$\alpha' = f(t_{др}; \rho_{др}),$$

где  $\alpha'$  — коэффициент теплопроводности древесины, см<sup>2</sup>/с;  
 $t_{др}$  — температура древесины, °С;  
 $\rho_{др}$  — плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>,

описывается уравнением

$$\alpha' \cdot 10^6 = K_n \left[ 1,6 + 1,2 \left( \frac{t_{др}}{25} \right) - 0,45 \left( \frac{t_{др}}{25} \right)^2 + 0,62 \left( \frac{t_{др}}{25} \right)^3 - 0,06 \left( \frac{t_{др}}{25} \right)^4 \right] \quad (4)$$

или в более удобном для программирования на ЭЦВМ виде

$$\alpha' \cdot 10^6 = K_n \left\{ 1,6 + \frac{t_{др}}{25} \left[ 1,2 - \frac{t_{др}}{25} \left[ 0,45 - \frac{t_{др}}{25} \left( 0,62 - 0,06 \frac{t_{др}}{25} \right) \right] \right] \right\}, \quad (5)$$

где  $K_n$  — коэффициент, учитывающий влияние на теплопроводность породы и плотности древесины, местоположения образца в стволе, направления потока влаги относительно волокон.

Значение  $K_n$  для древесины сосны — 1,063; березы — 0,81; бука — 0,605; лиственницы — 0,46; дуба — 0,34.

Зависимость

$$\lambda_{др.ном} = f(W_{др}; t_{др}),$$

где  $\lambda_{др.ном}$  — номинальное, т. е. при  $\rho_{усл} = 500$  кг/м<sup>3</sup>, значение коэффициента теплопроводности древесины поперек волокон при атмосферном давлении, Вт/(м·К);

$W_{др}$  — влажность древесины, %;

$t_{др}$  — температура древесины, °С,

описывается уравнениями:

а) при  $5 \leq W_{др} \leq 20\%$

$$\lambda_{др.ном} = 0,31495 (0,904 + 0,0048 t_{др})^{0,884} - 0,14781 (0,375 + 0,00625 t_{др})^{0,8855} - 0,006267 (20 - W_{др}) (0,375 + 0,00625 t_{др})^{0,6477}; \quad (6)$$

б) при  $20 < W_{др} \leq 50\%$

$$\lambda_{др.ном} = 0,31495 (0,904 + 0,0048 t_{др})^{0,884} - 0,004927 (50 - W_{др}) (0,375 + 0,00625 t_{др})^{0,8855}; \quad (7)$$

в) при  $50 < W_{др} \leq 60\%$

$$\lambda_{др.ном} = 0,34178 (0,904 + 0,0048 t_{др})^{0,89135} - 0,0036847 (60 - W_{др}) (0,375 + 0,00625 t_{др})^{0,5}; \quad (8)$$

г) при  $60 < W_{др} \leq 80\%$

$$\lambda_{др.ном} = 0,38098 (0,904 + 0,0048t_{др})^{0,98876} - 0,003437 (80 - W_{др}) (0,375 + 0,00625t_{др})^{0,855}; \quad (9)$$

д) при  $80 < W_{др} \leq 100\%$

$$\lambda_{др.ном} = 0,41298 (0,904 + 0,0048t_{др})^{1,0762} - 0,003027 (100 - W_{др}) (0,375 + 0,00625t_{др})^{0,965}; \quad (10)$$

е) при  $100 < W_{др} \leq 120\%$

$$\lambda_{др.ном} = 0,43198 (0,904 + 0,0048t_{др})^{1,1606} - 0,0022 (120 - W_{др}) (0,375 + 0,00625t_{др})^{1,2115}. \quad (11)$$

В уравнениях (6)—(11) не учтено влияние породы древесины, отклонение плотности древесины и направления потока тепла относительно волокон.

Для учета этих факторов с небольшой погрешностью следует пользоваться уравнением [2]

$$\lambda_{др} = \lambda_{др.ном} K_p K_x, \quad (12)$$

где  $\lambda_{др}$  — действительный коэффициент теплопроводности древесины, Вт/(м·К);

$K_p$  и  $K_x$  — коэффициенты, учитывающие влияние условной плотности древесины и направления теплового потока [2].

Зависимость

$$C_{др} = f(W_{др}; t_{др}),$$

где  $C_{др}$  — удельная массовая теплоемкость древесины, кДж/(кг·К);

$W_{др}$  — влажность древесины, %;

$t_{др}$  — температура древесины, °С,

описывается предлагаемыми автором уравнениями, действительными для древесины различных пород:

а) при  $0 \leq t_{др} \leq 100^\circ\text{C}$ ;  $5 < W_{др} \leq 20\%$

$$C_{др} = 2,48e^{0,09176\sqrt{W_{др}} - 0,41036} - \frac{0,32 - 0,008(20 - W_{др})}{80} (100 - t_{др}); \quad (13)$$

б) при  $0 \leq t_{др} \leq 100^\circ\text{C}$ ;  $20 < W_{др} \leq 50\%$

$$C_{др} = 3,08e^{0,083367\sqrt{W_{др}} - 0,53949} [1 - 0,0012(15 - |35 - W_{др}|)]^{0,3} [1 + 0,0027(15 - |35 - W_{др}|)]^{0,316} - \frac{0,44 - 0,004(50 - W_{др})}{80} (100 - t_{др}); \quad (14)$$

в) при  $0 \leq t_{др} \leq 100^\circ\text{C}$ ;  $50 < W_{др} \leq 100\%$

$$C_{др} = 3,5296e^{(0,037248\sqrt{W_{др}} - 0,37248)} (1 + 0,0075|75 - W_{др}|)^{1,3} - 0,0055(100 - t_{др}); \quad (15)$$

г) при  $0 \leq t_{др} \leq 100^\circ\text{C}$ ;  $100 < W_{др} \leq 120\%$

$$C_{др} = 3,5296 [1 + 0,00125(W_{др} - 100)]^{1,575} - 0,0055(100 - t_{др}). \quad (16)$$

По предлагаемым уравнениям с помощью ЭЦВМ составлены подробные таблицы параметров древесины — равновесной влажности, вла-

гопроводности, теплопроводности, теплоемкости и температуропроводности.

Уравнения не только обеспечивают функционирование АСУ ТП сушки древесины, но и позволяют осуществлять с помощью ЭЦВМ проектирование сушильных установок.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Кречетов И. В. Сушка древесины. М., 1972, с. 75—80, 109—112. [2]. Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М., 1975, с. 32—40. [3]. Смирнов А. А. Исследование воздушно-паровых лесосушительных камер периодического действия как регулируемых объектов. Л., 1968, с. 7—8. [4]. Чудиннов Б. С. Теория тепловой обработки древесины. М., 1968, с. 28—42. [5]. Шубин Г. С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины. М., 1973, с. 36—67.

Поступила 29 марта 1977 г.

УДК 634.0.375.5

### К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ РАМ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Г. Г. МОХОРТ

Хмельницкий технологический институт

Рассмотрено влияние статической нагрузки лесовозного автомобиля и скорости его движения на ресурс деталей рамы, показаны возможности оптимизации этих параметров.

Одна из особенностей нагружения рам лесовозных автомобилей — частое и значительное отклонение величины полезной нагрузки, приходящейся на автомобиль, от нормативной [6]. Если учесть, что нормативная (принятая на лесоразработках) нагрузка обычно больше номинальной (рекомендуемой заводом-изготовителем), становится очевидной необходимость исследования влияния эксплуатационных перегрузок на ресурс деталей несущей системы лесовозного автомобиля.

Увеличение статической нагрузки на коник автомобиля вызывает изменение статической и динамической составляющих напряжения в деталях его рамы. Известно [4], что наличие постоянной составляющей сжимающего напряжения приводит к небольшому увеличению предела выносливости, растягивающего — к снижению его. Исследования [2] свидетельствуют о сравнительно небольшом влиянии такого изменения предела выносливости деталей на их ресурс при случайном характере нагружения. Однако по данным ЦНИИМЭ, срок службы лесовозных автомобилей в среднем в 2,2 раза меньше срока службы однотипных автомобилей общего пользования. Не исключая влияния на ресурс рам лесовозных автомобилей таких факторов, как качество дорог, способ погрузки древесины и т. п., следует считать, что уменьшение ресурса при увеличении статической нагрузки связано с изменением основных колебательных характеристик автомобиля и уменьшением динамического хода подвески.

Увеличение статической нагрузки сопровождается снижением собственных частот автомобиля и уменьшением относительного демпфирования. Если движущийся по неровностям дороги лесовозный автомобиль рассматривать как линейную динамическую систему с постоянными параметрами, находящуюся под воздействием случайных

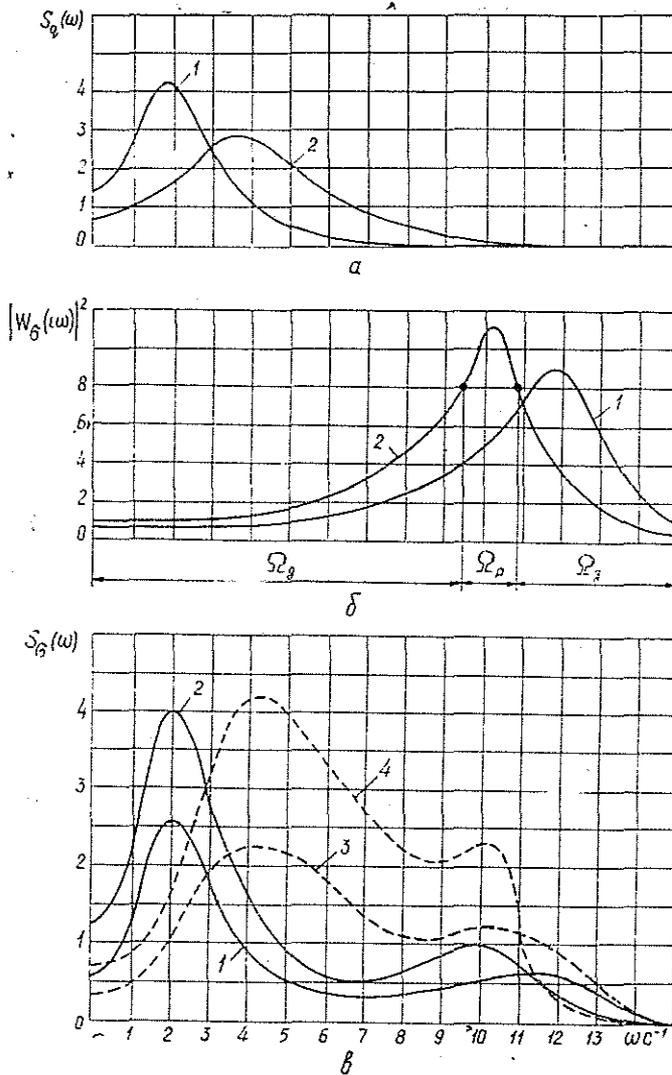


Рис. 1. Формирование спектральной плотности параметров нагруженности рамы лесовозного автомобиля.

*a* — спектральные плотности возмущающих функций, поступающих на вход динамической системы «автомобиль»; *b* — квадраты модулей частотных характеристик рамы автомобиля; *c* — спектральные плотности напряжений в раме автомобиля.

возмущений со стороны дороги, то поведение системы в частотной области описывается соотношением

$$S_{\sigma}(\omega) = |W(i\omega)|^2 S_q(\omega), \quad (1)$$

где  $S_{\sigma}(\omega)$  — спектральная плотность выходного процесса, например напряжений в деталях рамы;

$|W(i\omega)|^2$  — квадрат модуля частотной характеристики (КМЧХ) от входа, представляющего собой возмущение со стороны дороги, к выходу, представляющему напряжению;

$S_q(\omega)$  — спектральная плотность возмущающей функции (входа).

Рис. 1 иллюстрирует влияние увеличения статической нагрузки на формирование нагруженности деталей рамы. Кривая 1 (б) соответствует нормативной нагрузке, кривая 2 (б) — нагрузке, превышающей нормативную на 30%. Максимум кривой 2 (б) больше и уже, чем кривой 1 (б). Кривые  $S_q(\omega)$  1 и 2 (в) соответствуют кривым КМЧХ 1 и 2 (б) при  $S_q(\omega)$  — 1 (а). При увеличении статической нагрузки в  $K$  раз собственные частоты вертикальных колебаний подрессоренных масс автомобиля и относительное демпфирование уменьшаются в  $\sqrt{K}$  раз, а максимум КМЧХ возрастает в  $K$  раз. При этом очень существенно трансформируется спектральная плотность выходного процесса.

Основным критерием динамической нагруженности детали может быть дисперсия напряжений в ее опасных зонах

$$R_\sigma(0) = \int_0^\infty S_\sigma(\omega) d\omega = \int_0^\infty |W(i\omega)|^2 S_q(\omega) d\omega. \quad (2)$$

С достаточной для практических целей точностью дисперсию напряжений можно определить как площадь под кривой  $S_\sigma(\omega)$ , ограничиваясь конечной частотой  $\omega$ , на которой значения  $S_\sigma(\omega)$  пренебрежимо малы. Как следует из рис. 1, небольшому изменению КМЧХ может соответствовать значительное изменение дисперсии выходного процесса, хотя, в общем случае, все зависит от формы кривых  $S_q(\omega)$  и  $|W(i\omega)|^2$ . Кривые  $S_\sigma(\omega)$  3 и 4 (в) соответствуют кривой 2 (а) спектральной плотности  $S_q(\omega)$  и кривым 1 и 2 (б) КМЧХ.

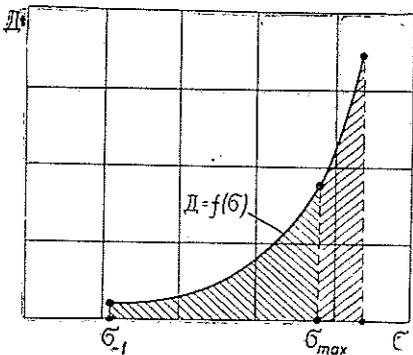


Рис. 2. Зависимость меры повреждения деталей рамы за цикл  $D$  от напряжения цикла  $\sigma$ .

Даже небольшое увеличение верхнего (максимального) уровня напряжения, определяемого дисперсией нормального процесса, вызывает резкое увеличение меры повреждения детали  $D$  и соответствующее уменьшение ресурса рамы автомобиля (рис. 2). Расчеты, произведенные для лесовозного автомобиля ЗИЛ-157К, показали, что при повышении нормативной нагрузки на 30% ресурс лонжеронов уменьшается в 2 раза. Это указывает на необходимость строгого контроля на лесозаготовительных предприятиях не только за величиной рейсовой нагрузки, но и за ее распределением между сочлененными единицами подвижного состава лесовозных дорог.

Дисперсия выходного процесса определяется также спектральной плотностью возмущающей функции дороги (рис. 1, а), которая зависит от скорости движения автомобиля. Часто спектральную плотность аппроксимируют выражением вида [5]

$$S_q(\omega) = \frac{2R_q(0)}{\pi} \frac{\alpha [\omega^2 + (\alpha^2 + \beta^2)]}{[\omega^4 + 2(\alpha^2 - \beta^2)\omega^2 + (\alpha^2 + \beta^2)^2]}, \quad (3)$$

где  $R_q(0)$  — дисперсия высот неровностей микропрофиля дороги;  
 $\alpha, \beta$  — параметры, зависящие от характера микропрофиля и скорости движения; если известны параметры  $\alpha_1, \beta_1$  для скорости  $V_1$ , то для скорости  $V_2$

$$\alpha_2 = \frac{V_2}{V_1} \alpha_1; \quad \beta_2 = \frac{V_2}{V_1} \beta_1. \quad (4)$$

При увеличении скорости движения максимум  $S_q(\omega)$  смещается в сторону высоких частот, т. е. увеличивается мощность возмущений на этих частотах — рис. 1, кривая 2 (а).

Функция  $S_q(\omega)$  имеет максимум на частоте  $\omega = 0$ , если  $3\beta^2 < \alpha$ ; при  $3\beta^2 > \alpha^2$  эта функция максимальна на частоте [1]

$$\omega_m = (\alpha^2 + \beta^2)^{0,25} [2\beta - (\alpha^2 + \beta^2)^{0,5}]^{0,5}. \quad (5)$$

Таким образом, при изменении скорости движения сближение по частоте максимумов  $S_q(\omega)$  и  $|W(i\omega)|^2$  сопровождается резким увеличением дисперсии выходных процессов, а их удаление друг от друга — снижением интенсивности колебаний.

Так как лесовозный автомобиль, в отличие от многоцелевого, совершает движение по ограниченному числу маршрутов, в лесозаготовительных предприятиях, располагающих дорогами с твердым покрытием, можно рассчитать оптимальные режимы нагружения подвижного состава — рейсовую нагрузку и скорость движения в грузовом и порожняковом направлении по каждому характерному маршруту движения.

Критерием оптимальности режимов нагружения должен быть экономический комплексный показатель, учитывающий затраты на ремонт подвижного состава, факторы рентабельности использования лесовозного транспорта и т. п. Оптимальными в данном случае можно считать режимы нагружения, которым соответствуют минимальные суммарные затраты (при расчетном уровне рентабельности).

Оптимальная в смысле минимума дисперсии выходного процесса скорость движения может быть вычислена по формулам (1) и (2) на ЭЦВМ. Скорость движения задается в диапазоне скоростей от  $V_{min}$ , определяемой из условия рентабельности автомобиля, до  $V_{max}$ , ограниченной мощностью двигателя или соображениями безопасности движения. Кривую КМЧХ можно условно разделить на три зоны: дорезонансную —  $\Omega_d$ , резонансную —  $\Omega_p$  и зарезонансную —  $\Omega_z$ . Нетривиальное условие оптимальности может быть выполнено при нахождении максимума возмущающей функции  $S_q(\omega)$  в дорезонансной или в зарезонансной зоне (рис. 1, б). Обычно скорость движения соответствует первому случаю, но если микропрофиль дороги содержит в основном короткие неровности, после перехода через резонансную зону возможно сравнительно плавное движение с большой скоростью, т. е. могут существовать два относительных минимума дисперсии и две оптимальные в указанном смысле скорости движения. Для производства необходимых расчетов требуется определить возмущающие функции дороги [5], КМЧХ наиболее ответственных деталей рамы [3] и по формулам (1)—(4) рассчитать оптимальные скорости движения. Возможно и экспериментально-графическое решение поставленной задачи путем нахождения минимума зависимости  $R_q(0) = f(V)$ .

При проведении дорожных, полигонных и стендовых испытаний автомобилей, когда необходимо в кратчайшие сроки получить сведения о наиболее слабых местах конструкции, наилучшей можно считать такую скорость движения, при которой дисперсия выходного процесса максимальна. Это условие выполнимо, если максимум  $S_q(\omega)$  находится в резонансной зоне. При известных низших собственных частотах колебаний автомобиля  $\omega_p$  оптимальную скорость движения можно приближенно определить по формуле, полученной с учетом выражений (3) — (5),

$$V_p = \frac{\omega_p}{(1 + K^2)^{0,25} [2K - (1 + K^2)^{0,5}]^{0,5} \alpha_1}, \quad (6)$$

где  $K = \frac{\beta}{\alpha}$ ;  $\alpha$  — параметр выражения (3), соответствующий скорости движения  $V = 1$  м/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бендат Дж. Основа теории случайных шумов и ее применение. М., «Наука», 1965. [2]. Дмитриченко С. С. Методы оценки и повышения долговечности несущих систем тракторов и других машин. Автореф. дис. на соиск. учен. степени докт. техн. наук. М., 1971. [3]. Мохорт Г. Г. Применение методов статистической динамики к анализу нагруженности рам лесовозных автомобилей. — В сб.: Лесное хозяйство, лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность. Вып. 1. Киев, «Будівельник», 1973. [4]. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. М., Машгиз, 1963. [5]. Силаев А. А. Спектральная теория поддресоривания транспортных машин. М., Машгиз, 1963. [6]. Хлуд В. Я. Исследование распределения нагрузки на колеса лесовозного автопоезда в зависимости от веса пакета. — В сб.: Лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность. Вып. 8. Киев, «Будівельник», 1971.

Поступила 4 февраля 1977 г.

УДК 658.527 : 519.241.2

### АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Г. В. КРЫЛОВ

Московский лесотехнический институт

Приводятся приближенные аналитического выражения для определения вероятностных характеристик поточных процессов в лесной и деревообрабатывающей промышленности, которые могут быть представлены как системы массового обслуживания с потоками Эрланга одинакового порядка.

Многие проблемы оптимизации поточных технологических процессов и определения оптимальных объемов межоперационных запасов в лесной и деревообрабатывающей промышленности решаются с использованием методов теории массового обслуживания. Однако применение теории массового обслуживания для анализа систем с непуассоновскими потоками ограничивается вычислительными трудностями. Как правило, исследование таких систем производится методом статистического моделирования (методом Монте-Карло).

Между тем все реальные технологические процессы обладают последствием, т. е. не являются пуассоновскими. Поэтому получение

достаточно точных и простых приближенных аналитических выражений для определения характеристик непуассоновских систем массового обслуживания приобретает важное значение. Достоинства аналитического решения очевидны: оно не привязано к определенным числовым значениям параметров потока и системы обслуживания, позволяет находить оптимальные решения и делать обобщающие выводы.

Рассмотрим весьма распространенный в лесной и деревообрабатывающей промышленности случай одноканальной системы с ограничением на длину очереди. Поток заявок и время обслуживания описываются законом Эрланга одинакового порядка  $m$ , а отношение  $\rho$  интенсивности потока заявок  $\lambda'$  к интенсивности обслуживания  $\mu'$  близко к единице. Последнее условие характерно для поточных технологических процессов, когда загрузку агрегатов стремятся сделать максимальной, например для лесопильного потока.

В работе Саски [2] для одноканальной системы с ожиданием, интенсивностью порождающих потоков заявок  $\lambda$  и обслуживания  $\mu$  приводятся следующие формулы для определения вероятности  $q_j$  нахождения в очереди  $j$  требований:

$$q_j = - \sum_{r=1}^m a_r \left( \frac{\lambda}{\lambda + \beta_r} \right)^{mj} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda}{\lambda + \beta_r} \right)^m \right], \quad j = 1, 2, \dots \quad (1)$$

При  $j = 0$  следует также учесть вероятность простоя обслуживающего прибора. Поэтому

$$q_0 = 1 - \rho - \sum_{r=1}^m a_r \left[ 1 - \left( \frac{\lambda}{\lambda + \beta_r} \right)^m \right]. \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2)  $\beta_r$  — комплексные корни характеристического уравнения

$$\left[ \frac{\mu\lambda}{(\mu - \beta)(\lambda + \beta)} \right]^m = 1, \quad (3)$$

а

$$a_r = - \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq r}}^m \frac{\beta_k}{\beta_k - \beta_r} \left( \frac{\mu - \beta_r}{\mu} \right)^m, \quad (4)$$

В [2] показано, что решение характеристического уравнения (3) имеет вид

$$\beta_r = \frac{1}{2} (\mu - \lambda) + \sqrt{\frac{1}{4} (\lambda + \mu)^2 - \mu\lambda \cos \frac{2\pi}{m} r - i\mu\lambda \sin \frac{2\pi}{m} r}, \quad r = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

где  $i$  — мнимая единица, причем все корни характеристического уравнения (3) лежат внутри окружности радиусом  $\mu$  с центром в точке  $(\mu, 0)$ .

Как видим, нахождение вероятностей  $q_j$  связано с громоздкими вычислениями. В этой связи автором была поставлена задача получить более простые по сравнению с (1) и (2) формулы, доступные для инженерных расчетов. Ниже показано, что при  $0,85 \leq \rho \leq 1$  и  $1 \leq m \leq 40$  выражения (1) и (2) приводятся к весьма простому виду без особого ущерба для точности.

Из характеристического уравнения (3) следует, что

$$\left[ \frac{\lambda}{\lambda + \beta_r} \right]^m = \left[ \frac{\mu - \beta_r}{\mu} \right]^m. \tag{6}$$

Каждый корень  $\beta_r$  этого уравнения, за исключением  $m$ -го действительного корня  $\beta_m = \mu - \lambda$ , имеет сопряженный. Пусть  $m$  — нечетное число, тогда формулы (1) и (2) можно преобразовать следующим образом:

$$q_j = 2 \sum_{r=1}^{\frac{m-1}{2}} |A_r| |\rho_r|^{m(j+1)} |1 - \rho_r^m| \cos [\alpha_r + m(j+1)Q_r + \varphi_r] + A_m \rho^{m(j+1)} (1 - \rho^m); \tag{7}$$

$$q_0 = 1 - \rho + 2 \sum_{r=1}^{\frac{m-1}{2}} |A_r| |\rho_r|^m |1 - \rho_r^m| \cos [\alpha_r + mQ_r + \varphi_r] + A_m \rho^m (1 - \rho^m), \tag{8}$$

где

$$|A_r| = \left| \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq r}}^m \frac{\beta_k}{\beta_k - \beta_r} \right|; \quad \alpha_r = \arg - \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq r}}^m \frac{\beta_k}{\beta_k - \beta_r};$$

$$|\rho_r| = \left| \frac{\mu - \beta_r}{\mu} \right|; \quad Q_r = \arg \frac{\mu - \beta_r}{\mu}; \quad \varphi_r = \arg 1 - \rho_r^m.$$

Оценим абсолютную ошибку  $\Delta_j$ , которая получается, если в уравнениях (7) и (8) ограничиться одним последним  $m$ -м членом ряда. Очевидно, что

$$|\Delta_j| \leq 2 \sum_{r=1}^{\frac{m-1}{2}} |A_r| |\rho_r|^{m(j+1)}. \tag{9}$$

Чтобы определить величины, входящие в (9), требуется найти действительную и мнимую части корней  $\beta_r$ . Для этого выделяем действительную и мнимую части подкоренного выражения в (5) и находим его аргумент. Затем по формуле Муавра извлекаем квадратный корень из этого выражения, после чего к действительной части прибавляем  $\frac{1}{2}(\mu - \lambda)$ .

Такие расчеты были выполнены автором для  $1 \leq m \leq 40$  и  $0,85 \leq \rho \leq 0,98$ . На рис. 1 показано расположение корней  $\beta_r$  на комплексной плоскости для  $m = 17$ ,  $\rho = 0,9$ . Из рисун-

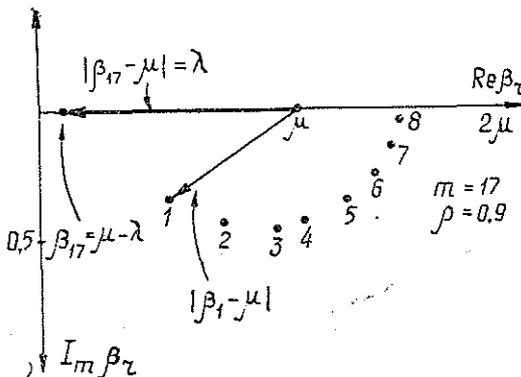


Рис. 1

ка видно, что длина любого вектора  $|\beta_r - \mu|$ ,  $r = 1, 2, \dots, \frac{m-1}{2}$ , меньше  $|\mu - \beta_m| = \lambda$ , т. е.  $\rho > \rho_r$  при  $\rho \rightarrow 1$ . Для других значений  $m$  и  $\rho$  картина взаиморасположения корней  $\beta_r$  получилась аналогичной.

Эта особенность корней характеристического уравнения для  $\rho \rightarrow 1$

приводит к тому, что сумма  $2 \sum_{r=1}^{\frac{m-1}{2}} |A_r| |\rho_r|^{m(j+1)}$  с ростом  $j$  убывает значительно быстрее, чем  $A_m \rho^{m(j+1)} (1 - \rho^m)$ . Иными словами, начиная с некоторого  $j$  можно считать, что

$$q_j \approx A_m \rho^{m(j+1)} (1 - \rho^m). \tag{10}$$

Таблица 1

m	$2 \sum_{r=1}^{\frac{m-1}{2}}  A_r   \rho_r ^{m(j+1)}$		$A_m \rho^{m(j+1)} (1 - \rho^m)$		$\xi$	
	при j					
	0	1	0	1	0	1
3	$2,94 \cdot 10^{-2}$	$2,48 \cdot 10^{-3}$	$1,84 \cdot 10^{-1}$	$1,49 \cdot 10^{-1}$	0,214	$1,67 \cdot 10^{-2}$
9	$6,22 \cdot 10^{-1}$	$1,88 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-1}$	$1,96 \cdot 10^{-1}$	1,27	$9,6 \cdot 10^{-3}$
17	18,4	$2,44 \cdot 10^{-4}$	$5,99 \cdot 10^{-1}$	$1,06 \cdot 10^{-1}$	30,8	$2,3 \cdot 10^{-3}$
39	$1,2 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-1}$	$1,16 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^6$	$4,4 \cdot 10^{-3}$

В табл. 1 представлены значения суммы  $2 \sum_{r=1}^{\frac{m-1}{2}} |A_r| |\rho_r|^{m(j+1)}$ ,  $q_j \approx A_m \rho^{m(j+1)} (1 - \rho^m)$  и их отношение  $\xi$  для различных  $m$  и  $j$  при  $\rho = 0,9$ . Как видим, уже при  $j = 1$  относительная погрешность выражения (10) не превышает 1,67% для  $m = 3$  и менее 1% для  $m \geq 9$ .

При  $j = 0$  формулой (10) пользоваться нельзя. Однако вероятность  $q_0$  легко находится из выражения

$$q_0 = 1 - \sum_{j=1}^{\infty} q_j. \tag{11}$$

Сумму, стоящую в правой части выражения (11), можно определить по формуле геометрической прогрессии. В результате получим

$$q_0 = 1 - A_m \rho^{2m}. \tag{12}$$

Найдем  $A_m$ . Согласно (4),  $A_m$  равно отношению произведения квадратов модулей  $\frac{m-1}{2}$  корней  $\beta_r$  к произведению квадратов модулей разностей этих корней с действительным корнем  $\beta_m = \mu - \lambda$

$$A_m = \prod_{r=1}^{\frac{m-1}{2}} \left[ \frac{|\beta_r|}{|\beta_r - \beta_m|} \right]^2. \tag{13}$$

Расчеты, выполненные по этой формуле, показали, что хорошей аппроксимацией зависимости  $A_m$  от  $\rho$  при различных значениях  $m$  может служить выражение

$$A_m = [1 - 6,0 \cdot 10^{-3}(m-1)] \left( \frac{2-\rho}{\rho} \right)^{\frac{m-1}{2}}, \quad 0,85 \leq \rho \leq 1, \quad 1 \leq m \leq 40, \quad (14)$$

относительная погрешность которого не превышает 3,5%.

Таким образом, окончательные выражения для приближенного определения вероятностей нахождения в очереди  $j$  заявок имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} q_j &= [1 - 6,0 \cdot 10^{-3}(m-1)] \left( \frac{2-\rho}{\rho} \right)^{\frac{m-1}{2}} \rho^{m(j+1)} (1 - \rho^m), \\ j &= 1, 2, \dots; \\ q_0 &= 1 - [1 - 6,0 \cdot 10^{-3}(m-1)] \left( \frac{2-\rho}{\rho} \right)^{\frac{m-1}{2}} \rho^{2m}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Для систем, в которых длина очереди не может превышать  $N$  заявок ( $N > 0$ ), вероятность  $P_j$  нахождения в очереди  $j$  заявок определяется по формуле

$$P_j \simeq \frac{q_j}{1 - \sum_{j=N+1}^{\infty} q_j}. \quad (16)$$

Сумму  $\sum_{j=N+1}^{\infty} q_j$  найдем по формуле геометрической прогрессии. Тогда

$$P_j \simeq \frac{A_m (1 - \rho^m) \rho^{m(j+1)}}{1 - A_m \rho^{m(N+2)}}. \quad (17)$$

Пример. Известно, что при некоторых поставках нормативная посылка  $\tilde{\Delta}_2$  лесопильной рамы II ряда больше нормативной посылки  $\tilde{\Delta}_1$ , лесорамы I ряда. В таких случаях снижение посылки  $\tilde{\Delta}_2$  до некоторого значения  $\Delta_2$  улучшает качественные и экономические показатели процесса рамного пиления. С другой стороны, снижение посылки  $\tilde{\Delta}_2$  приводит к возрастанию вероятности  $P_{01}$  останова лесорамы I ряда из-за переполнения брусоперекладчика, т. е. снижению производительности [1]. Для определения оптимальной посылки  $\Delta_2$  необходимо найти вероятность останова  $P_{01}$  как функцию отношения посылок  $\frac{\tilde{\Delta}_1}{\Delta_2} \simeq \rho$ , объема брусоперекладчика  $N$  и порядка  $m$  потока Эрланга, которым описывается процесс брусочки и развала бруса. Так как  $P_{01} = P_{j=N}$ , из формулы (17) получаем

$$P_{01} = \frac{A_m \rho^{m(N+1)} (1 - \rho^m)}{1 - A_m \rho^{m(N+2)}}. \quad (18)$$

Как показывает анализ выражения (18), существует определенный интервал, в пределах которого уменьшение посылки  $\Delta_2$  практически не влияет на производительность лесорам. Этот интервал тем больше, чем выше порядок  $m$  потока Эрланга. Иными словами, возможность снижения нормативной посылки лесорамы II ряда определяется степенью разброса времени операционных затрат на лесорамах и объемом брусоперекладчика.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Крылов Г. В. Математическая модель для расчета согласованного режима развала бруса лесопильной рамой II ряда. — Тезисы докладов научно-технической конференции. Достижения техники и технологии деревообрабатывающей промышленности. Киев, 1975. [2]. Syski R. Introduction to Congestion Theory in Telephone Systems. London, 1960.

Поступила 4 марта 1977 г.

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 512.831 : 65.012.2 : 674.047.45

МАТРИЧНЫЙ МЕТОД КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ  
КАМЕРНОЙ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

О. В. КОНДЗИРСКАЯ, Е. С. ДОРОЖОВСКИЙ, Э. Я. ОКСАНИЧ

Львовский лесотехнический институт

Изложена методика составления календарного плана-графика камерной сушки лесоматериалов на деревообрабатывающих предприятиях. Приведен алгоритм решения задачи по определению очередности загрузки камер и обеспечению нормального запаса сухих материалов. Задача решается путем преобразования матриц.

В оперативно-производственном планировании деревообрабатывающих предприятий рядом особенностей отличается календарное планирование сушильных цехов. Это обусловлено тем, что периодичность выхода сухих материалов из сушильных камер и размеры партий не совпадают с периодичностью и партиями запуска их в цехи машинной обработки.

Так, на мебельных предприятиях подача сухих заготовок в цехи машинной обработки обычно производится ежедневно определенными партиями, равными сменной или суточной потребности, тогда как сухие заготовки из камер вынимают периодически и партиями, значительно превышающими суточную потребность. Наконец, в сушильных цехах, в отличие от других основных цехов, не представляется возможным ежесменно и даже ежесуточно регулировать количественное соотношение выхода из сушильных камер сухих материалов разных типоразмеров.

Методы календарного планирования сушильных цехов разработаны все еще недостаточно. В связи с этим на многих предприятиях, особенно мебельных, где сушка производится в заготовках, зачастую наблюдается дефицит и даже полное отсутствие запаса сухих материалов одних типоразмеров при чрезмерно большом запасе материалов других типоразмеров. Во избежание дефицита сухих материалов иногда допускается одновременная сушка в одной камере материалов, требующих различных режимов и продолжительности сушки, неполное использование емкости сушильных камер. Все это нарушает ритмичность работы цехов, отрицательно сказывается на качестве продукции.

При разработке календарного плана-графика камерной сушки материалов необходимо:

- 1) установить даты загрузки и выгрузки каждой сушильной камеры определенными видами материалов с таким расчетом, чтобы обеспечить необходимый минимальный запас сухих материалов для бесперебойного снабжения ими обрабатывающих цехов;

- 2) определить количество различных материалов, одновременно помещаемых в каждую сушильную камеру при каждой ее загрузке;

- 3) обеспечить полное использование емкости сушильных камер и не допускать их простоя (за исключением плановых простоев на ремонт).

В данной статье излагается метод составления календарного плана сушки при закреплении однотипных сушильных камер за определенными видами высушиваемых материалов. При построении алгоритма решения задачи приняты следующие условия:

а) продолжительность сушки и загрузочная емкость каждой камеры для одного и того же материала одинаковы;

б) мощности камер полностью обеспечивают сушку материала в объеме, равном плановой потребности;

в) в одной сушильной камере допускается одновременная сушка материалов, режим и продолжительность сушки которых одинаковы, т. е. относящихся к одной режимной группе;

г) объем одновременно загружаемых в камеру материалов определенной режимной группы соответствует емкости камеры;

д) подача сухих материалов в дальнейшую обработку после сушки производится партиями, равными суточной потребности обрабатывающих цехов в каждом материале;

е) запас сухого материала должен быть минимальным, но не ниже запаса, обеспечивающего ежедневную подачу в обрабатывающие цехи до выгрузки из камер новой партии этого же материала.

Для решения задачи необходимо иметь следующие данные:

$W_{ij}$  — плановый объем сушки  $i$ -того материала  $j$ -той режимной группы,  $m^3$ ;

где  $j=1, 2, \dots, m$  ( $m$  — количество режимных групп материалов);  
 $i=1, 2, \dots, n$  ( $n$  — количество видов материалов в одной режимной группе);

$R_{ij}$  — остатки высушенного  $i$ -того вида материала  $j$ -той режимной группы на начало планового периода,  $m^3$ . Сюда включается также материал, находящийся в сушильных камерах на начало планового периода;

$S_{ij}$  — нормативный запас сухого материала, выраженный в днях. Он принимается по потребности обрабатывающих цехов на период между двумя очередными выгрузками данного материала из камер;

$l$  — число всех рабочих дней обрабатывающих цехов в плановом периоде;

$q_{ij}$  — суточная потребность  $i$ -того материала  $j$ -той режимной группы в обрабатывающих цехах,  $m^3$ ;

$t_j$  — продолжительность сушки материала  $j$ -той режимной группы, сут;

$E_j$  — загрузочная емкость одной камеры материала  $j$ -той режимной группы,  $m^3$ .

Порядок решения задачи следующий. Составляют матрицу дефицита времени  $D$  размером  $n \times m$  и матрицу объемов сушки  $C$  также размером  $n \times m$ .

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1j} & \dots & d_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ d_{i1} & \dots & d_{ij} & \dots & d_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nj} & \dots & d_{nm} \end{pmatrix}; \quad C = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{i1} & \dots & c_{ij} & \dots & c_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & \dots & c_{nj} & \dots & c_{nm} \end{pmatrix}.$$

Элементы матрицы  $D$  вычисляются по формуле

$$d_{ij} = \left\{ \begin{array}{ll} l - \frac{R_{ij}}{q_{ij}} + S_{ij} & \text{при } l + S_{ij} > \frac{R_{ij}}{q_{ij}}; \\ 0 & \text{при } l + S_{ij} \leq \frac{R_{ij}}{q_{ij}}, \end{array} \right\} \quad (1)$$

где  $d_{ij}$  — число рабочих дней обрабатывающих цехов до конца планового периода, в течение которых цехи не обеспечены имеющимся на начало этого периода запасом сухого материала.

Корректировку элементов  $j$ -го столбца матрицы  $D$  производят по формуле

$$d_{ij}^* = d_{ij} - \frac{k_{ij}}{q_{ij}}, \quad (2)$$

где  $d_{ij}^*$  — новый скорректированный элемент матрицы  $D^*$ ;  
 $k_{ij}$  — количество  $i$ -го материала  $j$ -той группы, одновременно загружаемых в камеру емкостью  $E_j$ ,

$$k_{ij} = \frac{d_{ij} c_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij} c_{ij}} E_j. \quad (3)$$

$$D^* = \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1j}^* & \dots & d_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ d_{i1} & \dots & d_{ij}^* & \dots & d_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nj}^* & \dots & d_{nm} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

При этом, если в  $j$ -той режимной группе меньше  $n$  видов материалов, то остальные элементы  $d_{ij}$  соответствующего столбца матрицы  $D$  заполняют нулями до  $n$ .

Элементы матрицы  $C$  вычисляют по формуле

$$c_{ij} = d_{ij} q_{ij}, \quad (5)$$

где  $c_{ij}$  — общая потребность  $i$ -го материала  $j$ -той группы на плановый период с учетом поддержания нормативного запаса, м<sup>3</sup>.

Корректировку элементов  $j$ -го столбца матрицы  $C$  производят по формуле

$$c_{ij}^* = c_{ij} - k_{ij}. \quad (6)$$

В результате получим новую матрицу

$$C^* = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1j}^* & \dots & c_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{i1} & \dots & c_{ij}^* & \dots & c_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & \dots & c_{nj}^* & \dots & c_{nm} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Преобразование матриц продолжается до тех пор, пока не будут получены нулевые значения всех элементов матриц  $D$  и  $C$ .

Поскольку за одну итерацию с общей плановой потребности в высушиваемом материале снимается количество, равное емкости камеры, то количество итераций до получения нулевых значений всех элементов

матрицы будет равно количеству камерооборотов, необходимых для сушки всех материалов.

Данный метод учитывает как дефицит рабочего времени камер, необходимого для сушки данного материала, так и дефицит количества высушиваемого материала.

Расчеты можно выполнять также только по дефициту времени, т. е. на основании преобразований матрицы  $D$ . Однако в этом случае сушка материала с максимальным дефицитом времени и малой суточной потребностью будет запланирована в первые дни с накоплением значительного запаса, а сушка материала с малым дефицитом времени и большой суточной потребностью будет запланирована во вторую очередь.

Если же расчеты вести на основании дефицитов объемов, т. е. путем преобразования только матрицы  $C$ , то при загрузке камер будет соблюдаться постоянное количественное соотношение различных материалов данной режимной группы, тогда как потребность в них и дефицит различны.

Поэтому объем загружаемого в камеру материала  $i$ -того вида  $j$ -той группы следует определять исходя из доли его в общей программе сушки данной режимной группы, выраженной в кубометро-сутках, что позволяет найти оптимальный вариант календарного плана-графика работы сушильного цеха.

Предложенный алгоритм легко программируется для расчетов на ЭВМ и состоит из следующих шагов:

- 1 — расчет элементов матриц  $D$  и  $C$  по формулам (1) и (5);
- 2 — нахождение максимального ненулевого элемента в матрице  $D$ . Если максимальный элемент равен нулю, перейти к шагу 6;
- 3 — расчет и заполнение объемов загрузки в камеру материалов группы, соответствующей выбранному столбцу с максимальным элементом, заполнение  $t_j$ ;
- 4 — корректировка матриц  $D$  и  $C$  по формулам (2), (3), (4), (6) и (7). Занесение единицы в счетчик числа камерооборотов;
- 5 — переход к шагу 2;
- 6 — определение числа камеро-суток;
- 7 — определение количества необходимых сушильных камер;
- 8 — составление календарного плана-графика загрузки сушильных камер.

Поступила 14 февраля 1977 г.

УДК 658.114.51.6

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ НА ЛЕСОЗАГОТОВКАХ: ОПЫТ И ПРОБЛЕМЫ

Т. И. НОВГОРОВОДА, А. В. ПЛАСТИНИН, Е. С. РОМАНОВ,  
Н. П. ШЕРЕМЕТЬЕВСКАЯ

Архангельский лесотехнический институт

Рассмотрен двухлетний опыт применения новой организационной структуры управления в лесозаготовительной промышленности Архангельской области.

Процесс создания промышленных и производственных объединений в лесозаготовительной отрасли начался совсем недавно. Так, в частности, производственные объединения в составе промышленного объединения Архангельсклеспром были созданы в октябре 1974 г.

Однако и этот небольшой срок функционирования производственных объединений позволяет сделать некоторые выводы и сформулировать предложения о путях дальнейшего развития этой организационной формы управления в условиях лесозаготовки. При этом важно учесть опыт деятельности объединений в других отраслях, где они появились значительно раньше.

Первые производственные объединения были созданы в 1962 г. бывшим Львовским совнархозом. С тех пор возникло довольно много различных форм, рассмотрение которых представляет не только теоретический, но и практический интерес. В основу классификации производственных объединений может быть заложено несколько признаков: правовой, организационный, производственный и др.

На наш взгляд, можно согласиться с теми авторами, которые, не замыкаясь на каком-либо одном признаке, классифицируют производственные объединения по четырем признакам:

- 1) по масштабу производственной деятельности и территориальному расположению входящих в него производственных единиц;
- 2) по характеру и степени межотраслевой связи и отраслевой структуры;
- 3) по характеру деятельности, специализации и форме связи между производственными подразделениями;
- 4) по типу внутренней структуры, правовой и хозяйственной самостоятельности производственных единиц.

По первому признаку можно выделить: всесоюзные, республиканские, региональные производственные объединения.

В соответствии со вторым признаком различают: чисто производственные, научно-производственные, учебно-производственные, аграрно-промышленные, торгово-промышленные и некоторые производные от смешения этих форм.

По третьему признаку выделяют комбинат, объединенное предприятие, фирму.

Ориентируясь на четвертый признак, можно выделить производственные объединения:

- 1) включающие производственные единицы, полностью утратившие свою юридическую самостоятельность;
- 2) включающие предприятия как с юридической самостоятельностью, так и утратившие ее;
- 3) где все предприятия юридически самостоятельны.

На рис. 1 эта классификация представлена графически.

Производственные объединения на лесозаготовках Архангельской области, кроме головного предприятия, включают либо только самостоятельные леспромхозы и лесобазы, либо только филиалы (т. е. несамостоятельные единицы), либо те и другие.

Основной недостаток этой системы мы видим в том, что все производственные объединения — одноотраслевые, точнее однопроизводственные («горизонтальная интеграция»). Даже расположенные в одном административном районе леспромхоз, сплавконтора и химлесхоз входят каждый в свое объединение, причем объединения сплавных и подсочных предприятий находятся в областном центре и практически ничем не отличаются от бывших трестов. В силу объективной территориальной разобщенности частей объединения возможности концентрации производства в нем резко ограничены и все сводится лишь к концентрации управления. Параллельно на той же территории функционируют органы еще одной родственной отрасли — лесного хозяйства: производственные объединения, лесхозы, филиалы.

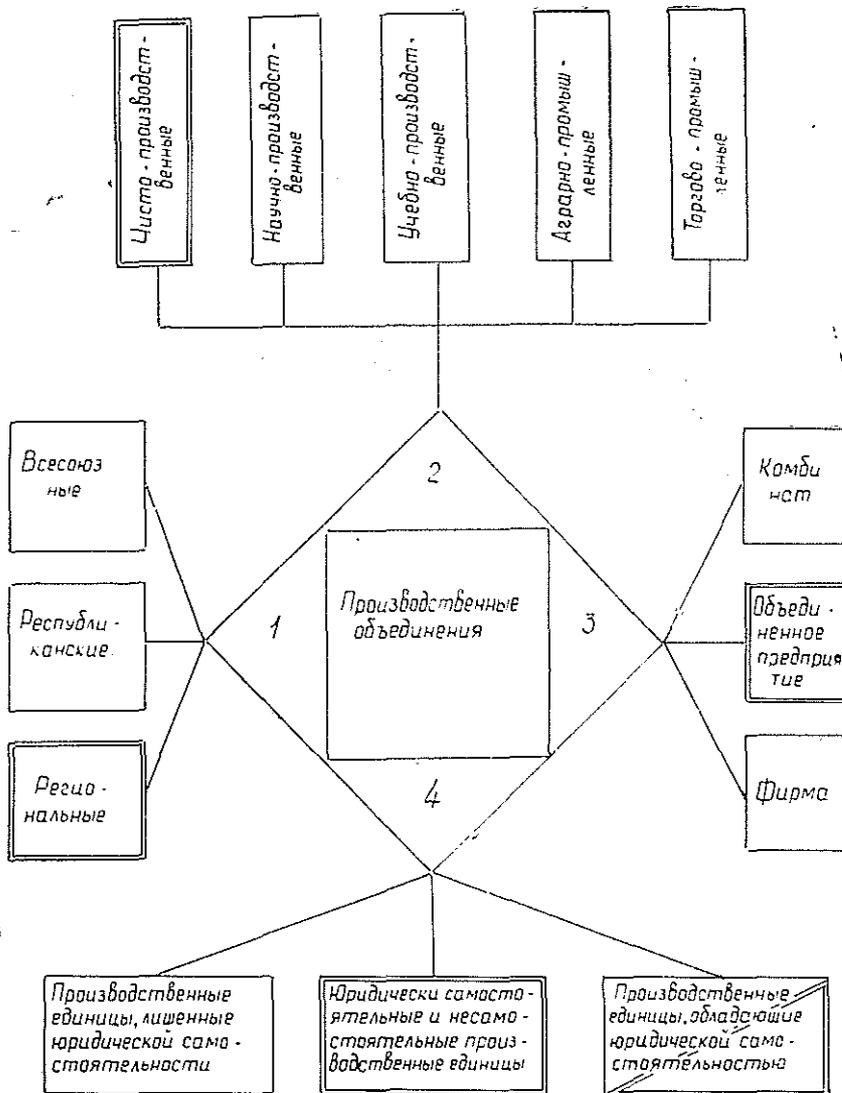


Рис. 1. Классификация производственных объединений. Двойными рамками обозначены формы, соответствующие производственным объединениям Всесоюзного промышленного объединения Архангельсклеспром.

В образовавшейся цепочке линейного персонала: генеральный директор производственного объединения — директор самостоятельного предприятия или начальник филиала — начальник цеха — мастер — не всегда соблюдается принцип единоначалия. Есть немало примеров, когда генеральный директор отдает распоряжения непосредственно лесопунктам, минуя директора леспромхоза или начальника филиала.

Весьма нечетко распределяются функции управления между подразделениями производственного объединения: головным и самостоятельными предприятиями, головным и филиалами. При исследовании этого вопроса нами было проведено выборочное анкетирование среди административно-управленческого персонала некоторых производствен-

ных объединений. Обработка результатов анкетирования показала, что сущность производственных объединений до сих пор понимается некоторыми работниками не совсем правильно. Неудивительно поэтому, что руководители производственных объединений, отмечая факты снижения ответственности филиалов, в то же время считают нормальным руководить лесопунктами, минуя аппарат филиалов (производственные объединения Онегалес, Няндомалес). Одна из причин недостаточной ответственности филиалов — установление для них таких показателей, которые затем невозможно определить или отделить от результатов работы головного предприятия.

Положение о производственном объединении предоставляет ему широкие права в части финансово-кредитных отношений, однако лесозаготовительные производственные объединения используют их пока еще слабо. Например, перераспределение фонда заработной платы между производственными единицами с целью перекрытия перерасходов, допущенных одними, экономией, образовавшейся у других, затруднено, так как отделения Госбанка требуют справки о фонде заработной платы по каждому подразделению.

Расчеты с бюджетом производятся децентрализованно, т. е. каждое предприятие осуществляет их самостоятельно. Одна из причин такого положения дел заключается в наличии отдельных расчетных счетов у всех производственных единиц, входящих в объединение. Так, например, объединение Плесецклес имеет в Плесецком районном отделении Госбанка три расчетных счета (головного предприятия, Савинского и Северного леспромхозов).

К негативным моментам действующих производственных объединений следует отнести также слабую организацию материально-технического снабжения. Управленческий персонал почти всех обследованных филиалов и самостоятельных предприятий отмечает, что организация материально-технического снабжения в производственных объединениях в сравнении с бывшими комбинатами не улучшилась: замедлились сроки поступления ресурсов, ухудшилось распределение их между производственными единицами. Материалы поступают на склады головного предприятия, которое не всегда справедливо распоряжается ими.

Резко возрос объем документации. Например, если раньше Коношский и Подюжский леспромхозы имели по одному коллективному договору, социалистическому обязательству, положению о премировании и т. д., то производственное объединение Коношалес, в состав которого входят эти предприятия, имеет по три коллективных договора, социалистических обязательства и т. д.: отдельно для головного предприятия, для филиала и для производственного объединения в целом.

Нет должной системы в планировании, учете и отчетности. Наше исследование показало, что в производственных объединениях собирают и передают огромное количество различных показателей, использовать которые не в состоянии ни само объединение, ни вышестоящие организации. В планировании также выполняется множество расчетов, однако четкой системы нет, а сроки разработки планов часто не выдерживаются.

Главным направлением дальнейшего совершенствования структуры управления в лесном деле, по нашему мнению, должна стать вертикальная интеграция, т. е. создание территориально-производственных объединений. Каждое из них должно включать леспромхозы, сплавконторы, химвлесхозы и лесхозы, уже сейчас связанные единством транспортной сети общего пользования, без материально-технического

снабжения, общими поселками. Единой станет их сырьевая база. Намного расширятся перспективы комплексного использования лесного сырья, укрупнения перерабатывающих производств, ремонтного и энергетического хозяйств, подсобных производств, жилищно-коммунального хозяйства и других объектов непроемственной сферы. Особенно важны возможности лучшего использования кадров по сезонам года, рационального трудоустройства женщин и подростков, формирования крупных, более дееспособных партийных, профсоюзных и других организаций.

По мере развития средств транспорта и связи количество лесопунктов, объединяемых одним леспромомхозом, должно увеличиваться вплоть до упразднения леспромомхозов и подчинения лесопунктов непосредственно объединению.

Минлеспром СССР в настоящее время контролирует немногим более половины лесозаготовок в стране. Создание территориально-производственных объединений позволит включить в их состав нынешних «самозаготовителей» и быстрее поднять уровень эффективности производства в них и в отрасли в целом.

Образование производственных объединений само по себе не означает увеличения концентрации лесозаготовительного производства. Здесь можно говорить, прежде всего, о концентрации (централизации) ремонтного и складского хозяйств, создании более мощных дорожно-строительных отрядов и т. п. Расширяются возможности концентрации и специализации деревообрабатывающих производств. Но пока все эти возможности реализуются слабо.

По нашему мнению, производственное объединение должно иметь единый расчетный счет. Это позволит оперативнее маневрировать оборотными средствами. Централизованными должны быть и фонды экономического стимулирования, по крайней мере, фонд развития производства и фонд социально-культурных мероприятий и жилищного строительства. Недопустим разноразличия в использовании фонда материального поощрения в разных подразделениях объединения. Аппарат управления головного предприятия следует поощрять по итогам работы объединения в целом.

Поступила 15 февраля 1977 г.

УДК 676.16.031/032.012.42

## К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Л. Е. БАРАНОВА, В. С. ЛЮБЛИН, Р. Ф. САПЕТА

Ленинградский технологический институт ЦБП

Предложены формулы для определения экономически оправданной структуры древесного сырья, учитывающие затраты на производство, выход целлюлозы по сортам и долю хвойных балансов в общем объеме сырья.

Из общего количества заготавливаемой в СССР древесины деловая составляет менее 80%. Основная часть деловой древесины (более 40%) используется в деревообрабатывающей промышленности, где полезный выход готовой продукции из древесного сырья равен в среднем 50%. По ориентировочным расчетам, общее количество древесных отходов и потерь в деревообрабатывающей промышленности составляет 50—60

млн. м<sup>3</sup>/год. Именно поэтому XXV съезд КПСС поставил задачу улучшить использование заготавливаемой древесины, ускорить наращивание мощностей по химической и химико-механической переработке древесных отходов, низкокачественной хвойной и мягколиственной древесины.

Один из путей улучшения использования заготавливаемой древесины — ориентация некоторых производств, ныне потребляющих древесину, на другие виды сырья с тем, чтобы увеличить долю потребления древесины теми отраслями промышленности, где она используется наиболее полезно. Предполагается, в частности, увеличить долю целлюлозно-бумажной промышленности в общем потреблении древесины с 10 до 13%.

При производстве целлюлозы, бумаги и картона степень полезного использования древесного сырья существенно выше, чем при механической переработке древесины. В то же время целлюлозно-бумажная промышленность в последние годы становится крупным потребителем древесных отходов и низкосортной древесины. В настоящее время в производстве целлюлозы перерабатывается до 17 млн. пл. м<sup>3</sup> технологических дров и технологической щепы в год, что составляет почти 42% общего объема древесного сырья, используемого в этой отрасли промышленности. Увеличивается и потребление лиственной древесины, доля которой в 1975 г. достигла 11,6%.

Практика работы целлюлозно-бумажных предприятий свидетельствует о том, что увеличение доли лиственной и низкосортной хвойной древесины в структуре сырья существенно влияет на технические и экономические показатели производства целлюлозы. Как правило, использование привозной технологической щепы и технологических дров влечет за собой некоторое снижение затрат на приобретение и подготовку древесного сырья, но увеличивает затраты на его переработку. Изменяется и качество вырабатываемой продукции.

Структура используемого древесного сырья влияет на выход целлюлозы из древесины, долю сортовой целлюлозы в общем объеме, структуру продукции по сортам и маркам и другие технико-экономические показатели. Возможности замены балансовой древесины можно определить, исследуя функцию эффективности производства целлюлозы.

Эффективность производства можно характеризовать размером прибыли от реализации единицы продукции. Структура вырабатываемой продукции оказывает влияние и на среднюю цену единицы вырабатываемой продукции, и на ее себестоимость, поэтому для определенной структуры вырабатываемой продукции прибыль будет различна.

Цена единицы продукции находится в функциональной зависимости от ее структуры по сортам; зависимость себестоимости единицы продукции от структуры выпускаемой продукции является корреляционной, так как на себестоимость влияет огромное число факторов. Многочисленными исследованиями показано, что данная зависимость является степенной, ускоренно возрастающей при предельных значениях показателя, характеризующего уровень качества. Прибыль определяется как разница между ценой и себестоимостью.

Если вырабатываемая продукция состоит из сортовой целлюлозы для производства бумаги и сучковой целлюлозы для выработки упаковочной бумаги или для упаковки сортовой целлюлозы, то в процессе исследования необходимо использовать следующие функции:

средняя цена 1 т вырабатываемой целлюлозы  $C$

$$C = az + b(1 - z) = b + (a - b)z,$$

где  $a$  — цена 1 т сортовой целлюлозы;  
 $b$  — цена 1 т сучковой целлюлозы;  
 $z$  — доля выхода сортовой целлюлозы;

себестоимость 1 т целлюлозы как функция от доли выхода сортовой целлюлозы

$$C = e + dz^{\alpha},$$

где  $e$  — себестоимость 1 т сучковой целлюлозы;  
 $d, \alpha$  — статистические коэффициенты;  
 прибыль от реализации 1 т целлюлозы

$$\Pi = \Pi - C = b + (a - b)z - (e + dz^{\alpha}) = (b - e) + (a - b)z - dz^{\alpha}.$$

В процессе производства целлюлозы нужно определить уровень выхода сортовой целлюлозы, при котором обеспечивается наибольшая прибыль, т. е. для положительных значений переменной нужно определить максимальное значение прибыли. Для этого надо найти точку, в которой первая производная функции  $\Pi = f(z)$  принимает значение, равное нулю.

Если определена экономически оправданная доля выхода сортовой целлюлозы, то, исследуя зависимость этого показателя от структуры используемого древесного сырья, можно рекомендовать наиболее благоприятную для данного предприятия структуру сырья.

Изложенная методика исследования может быть иллюстрирована зависимостями, характерными для работы одного из предприятий отрасли — Балахнинского целлюлозно-бумажного комбината, вырабатывающего сульфитную целлюлозу марки Ж-3 для переработки ее в газетную бумагу. Образующаяся сучковая целлюлоза перерабатывается в оберточную бумагу.

Вырабатываемая целлюлоза полностью потребляется на комбинате и не реализуется как товарная. Поэтому в исследовании для сортовой целлюлозы принята оптовая цена 1 т сульфитной целлюлозы из хвойной древесины марки Ж-3 — 210 р., а для сучковой — 100 р., т. е. цена, по которой реализуется целлюлоза, израсходованная на упаковку сортовой товарной целлюлозы.

Таким образом, для функции  $\Pi = f(z)$  получено следующее выражение:

$$\Pi = 100 + (210 - 100)z,$$

где  $\Pi$  — средняя цена реализации 1 т целлюлозы, р.;  
 $z$  — доля выхода сортовой целлюлозы,

или

$$\Pi = 100 + 1,1z.$$

Для себестоимости целлюлозы по варке путем обработки совокупности исходных данных 79 наблюдений методом наименьших квадратов получена следующая зависимость:

$$C = 67 + 0,0548z^{1,55},$$

где  $C$  — себестоимость 1 т целлюлозы по варке, р.;  
 $z$  — выход сортовой целлюлозы, %.

Использование себестоимости целлюлозы по варке вместо себестоимости товарной целлюлозы для расчета прибыли в данном случае возможно, так как затраты, связанные с сушкой целлюлозы различного качества, не имеют существенных различий. Поэтому прибыль для всех значений  $z$  больше на одну и ту же величину, что не изменяет значения  $z$ , соответствующего максимальной прибыли.

Таким образом, функция, характеризующая прибыль от реализации продукции, будет иметь вид

$$\Pi = 100 + 1,1z - 67 - 0,0548z^{1,55}$$

или

$$I7 = 33 + 1,1z - 0,0548z^{1,55}$$

Значение  $z$ , при котором прибыль будет наибольшей, равно 90,6.

Таким образом, 90,6% целлюлозы предприятию целесообразно использовать как сортовую.

Влияние доли используемых в процессе варки хвойных балансов на выход сортовой целлюлозы на Балахнинском комбинате характеризуется уравнением регрессии

$$z = 29,16 + 0,68x,$$

где  $z$  — выход сортовой целлюлозы, %;

$x$  — доля хвойных балансов в общем объеме используемого древесного сырья, %.

Значение  $z = 90,6$  достигается при содержании хвойных балансов 90,3%.

---

Поступила 21 января 1977 г.

## НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

### РАЙОНИРОВАНИЕ ЛЕСНОГО ФОНДА СССР

Научный Совет Академии наук СССР и Институт леса и древесины СО АН СССР им. В. И. Сукачева 15—17 марта с. г. в г. Красноярске провели первое всесоюзное совещание по проблеме районирования лесного фонда СССР. В его работе приняли участие один академик АН СССР, три члена-корреспондента АН СССР, 19 докторов и 45 кандидатов наук. Участники совещания практически представляли все территории нашей обширной страны. Программой было предусмотрено свыше 50 докладов. Но поскольку тезисы докладов были опубликованы, а срок работы ограничен, часть их не заслушивалась.

Открывая совещание, в своем вступительном слове акад. А. Б. Жуков обратил внимание на важное практическое значение лесохозяйственного районирования обширной территории СССР, имеющей существенные различия как по характеру самих лесов, так и по условиям ведения в них хозяйства. В обширном докладе, опирающемся на большой фактический материал лаборатории лесной типологии Института леса и древесины, ее руководитель В. Н. Смагин с сотрудниками (Д. И. Назимова, И. А. Коротков, С. А. Ильинская, Ю. С. Черединова, И. Ф. Новосельцева) осветили принципы и таксоны лесорастительного районирования Сибири применительно к равнинным и горным условиям. Авторы привели схему лесорастительного районирования этого обширного региона. Аналогичную схему предложил Л. В. Попов.

Принципам лесорастительного районирования были посвящены выступления представителей ЛигИИЛХа (Л. А. Кайрюкшис, С. П. Каразия, И. И. Кенставичус), Института экспериментальной ботаники АН БССР (В. С. Гельтман), Харьковского сельскохозяйственного института (Б. Ф. Остапенко), Института географии Сибири и Дальнего Востока (Л. Н. Ильина) и др.

Много внимания было уделено лесоэкономическому районированию (Е. Я. Судачков, А. А. Цымек, П. Т. Воронков, Л. С. Морева, Е. В. Полянский). С докладами по отраслевому районированию выступили чл.-кор. АН СССР Н. И. Пьявченко («Принципы лесомелиоративного районирования Европейского Севера СССР»), Н. П. Курбатский и В. А. Архипов («Принципы лесопожарного районирования и классификации»), А. И. Ирошников («Вопросы лесосеменного районирования»), А. В. Лебедев («Принципы и схема лесогидрологического районирования Сибири»), Т. Н. Буторина («Биоклиматическое районирование Красноярского края») и др.

Совещание уделило внимание использованию ЭВМ при некоторых видах районирования (А. С. Шейнгауз, А. А. Дорофеева и др.). Большой интерес вызвало сообщение об использовании фотоснимков, полученных с помощью космических аппаратов, для целей природного районирования (Д. М. Киреев «Опыт дистанционного изучения структуры природных комплексов для районирования Обь — Енисейского междуречья»). С сообщением о работах Института леса и древесины им. В. И. Сукачева в этом направлении выступил его директор, чл.-кор. АН СССР А. С. Исаев.

Чл.-кор. АН СССР Б. П. Колесников в своем выступлении обратил внимание на тот факт, что объектом лесохозяйственного районирования является не лес как таковой, а лесной фонд, территория, занятая лесом. При этом преследуется цель разделить лесной фонд на однородные природные объекты, в каждом из которых используются определенные хозяйственные приемы.

Таким образом, на представительном форуме по лесохозяйственному районированию был рассмотрен весьма широкий круг вопросов. Участники совещания пришли к выводу, что лесохозяйственное районирование, которое является более высокой и совершенной формой природного районирования с четко выраженной хозяйственной направленностью, — дело более сложное, чем это может показаться с первого взгляда. Пока еще нечетко сформулированы цели и задачи лесохозяйственного районирования. Само понятие «лесохозяйственный район» специалистами понимается неоднозначно. Нет достаточной ясности в определении таксонов, их иерархической соподчиненности. Довольно сложным оказалось решение и такого вопроса, как принципы районирования для интенсивных хозяйств относительно небольших территорий (например, Прибалтийских республик, Белорусской и Украинской ССР), с одной стороны, и таких обширных пространств, как Север европейской части СССР, Сибирь и Дальний Восток, имеющих экстенсивную форму лесного хозяйства.

Совещание приняло решение, окончательную доработку и редакцию которого поручило авторитетной комиссии.

П. Н. Львов.

Архангельский лесотехнический институт

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

## ЦЕННОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ\*

Московский лесотехнический институт в конце 1976 г. выпустил в свет учебное пособие «Лесная типология», написанное акад. ВАСХНИЛ, засл. деятелем науки РСФСР, проф., доктором с.-х. наук И. С. Мелеховым. Даже при небольшом объеме и связанном с этим весьма сжатым изложением книга И. С. Мелехова выгодно выделяется на фоне некоторых недавних публикаций по вопросам лесной типологии.

В ней подчеркнута необходимость комплексного биогеоценотического подхода к лесу. Без сомнения, очень важно, вслед за В. Н. Сукачевым, понимать тип леса как тип лесного биогеоценоза, чего, к сожалению, придерживаются не все лесотипологи. Биогеоценотический подход означает, что так называемая «среда леса», или «окружающая среда», органически включена в биогеоценоз, а не обнимает его как нечто внешнее.

В книге кратко и ясно изложены идеи динамической типологии леса, включая и нелесные этапы. Автор широко привлек материалы работ многих лесотипологов, показав историю типологии лесов и ее географические аспекты. Интересна информация о лесной типологии за рубежом. С педагогической точки зрения, очень полезны странички, посвященные перспективам развития лесной типологии.

Студенты приобретут ценные знания о прошлом, настоящем и будущем лесной типологии и ее значении для лесохозяйственной практики.

Следует сделать два замечания. В книге не показано, как и с какой целью термин «тип насаждения» был заменен «типом леса». Тираж книги мал. Желательно было бы снабдить ею все лесохозяйственные факультеты страны.

П. И. Войчаль.

Архангельский лесотехнический институт.

\* Мелехов И. С. Лесная типология. Учебное пособие. М., МЛТИ, 1976, 72 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Г. М. Давидов. Ход роста смешанных березовых насаждений в условиях Ленинградской области . . . . .	3
И. И. Гусев. Текущий прирост запаса наличного древостоя среднетаежных ельников . . . . .	6
А. И. Питикин, В. П. Кичура. Методика расчета общей производительности модальных древостоев . . . . .	12
Г. Б. Гортинский, А. И. Тарасов. Сравнительный анализ динамики годичного прироста у сосны и ели . . . . .	16
И. М. Верхунов. Варьирование таксационных показателей в разновозрастном сосновом лесу . . . . .	19
В. Г. Стороженко. Использование данных фитопатологических исследований для обоснования рубок ухода за лесом . . . . .	23
Б. И. Иваненко. Лесорастительное районирование Калужской области . . . . .	26
В. Н. Трофимов. К поисковой способности эктопаразита ольхового рогохвоста <i>Rhyssella approximator</i> F. . . . .	31
Т. С. Момот. Культура <i>in vitro</i> изолированных корней лиственниц сибирской и даурской ( <i>Larix sibirica</i> Maxim. и <i>L. dahurica</i> Turcz.) . . . . .	35
Ю. И. Колесников, Г. И. Ларин, А. Ф. Пронин. Удельное сопротивление плуга ПЛД-1,2 на различных категориях лесокультурных площадей . . . . .	37

### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

Ю. П. Борисовец, В. М. Кондратьев, В. Н. Худоголов. Лесосплав в десятой пятилетке . . . . .	40
А. В. Данилин, В. Г. Кочегаров. Результаты исследований процесса пакетирования деревьев на рубках ухода за лесом . . . . .	43
И. Д. Клычков. Об оптимальной удельной мощности и рациональной рейсовой нагрузке лесовозного автопоезда . . . . .	47
Р. Л. Коровкин, Б. В. Уваров, Е. С. Буряк. К вопросу о вертикальной динамике лесовозного автопоезда . . . . .	52
И. И. Сленко, Э. Н. Матвеев. Исследование динамики незамкнутого тягового троса . . . . .	59
А. Ф. Литвинова. Поперечные колебания несущего каната подвесной лесотранспортной установки при отрыве груза от грунта . . . . .	65
Г. Я. Суров. Присоединенные массы плавающего пучка бревен при его ударе о сооружение . . . . .	69
Ф. А. Павлов, С. И. Морозов. О совместном действии касательных и нормальных нагрузок на покрытие лесовозных дорог . . . . .	73
Ю. И. Багин. Теоретические и экспериментальные исследования уплотнений из полимерных материалов . . . . .	77
А. В. Жуков. Анализ скоростных характеристик динамической системы валочно-пакетирующая машина — дерево . . . . .	83

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Б. Е. Галинкин, Б. И. Кожевников, В. П. Миронов. Определение некоторых параметров деформации при стружкообразовании . . . . .	88
Ю. В. Малышев. Теоретическое определение собственных частот полотна ленточной пилы в статике . . . . .	92
А. Б. Израелит, Р. М. Мурзич. Механические свойства модифицированного фторопластом текстолита при изменении температуры . . . . .	96
Г. А. Тихомирова. Стойкость инструмента при фрезеровании пластифицированной древесины . . . . .	99

- А. В. Алексеев. О влиянии внешнего электрического тока в системе СИД на некоторые показатели процесса резания древесины и износа инструмента . . . . . 103
- А. Н. Обливин, Г. Н. Афанасьев. Исследование тепло- и массообмена в плотном слое древесных частиц . . . . . 107

#### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Е. А. Демченко, В. Е. Ковалев, Н. П. Маркова, В. Б. Некрасова. Влияние неомыляемых веществ на качество талловых продуктов. . . . . 113
- Б. П. Ерыхов, А. П. Плотников, А. Ю. Сташкявичус. О возможности однопараметрового неразрушающего контроля качества целлюлозно-бумажных материалов . . . . . 117
- Н. А. Мельчакова, Н. А. Русина, З. П. Ельницкая, М. И. Чудаков, Л. И. Виноградова, З. Н. Наумова. Влияние добавок сульфида натрия на свойства целлюлозы при холодном облагораживании . . . . . 122
- Н. Н. Калинин, А. И. Киррианов, М. А. Сидоров, Ю. В. Храмов. Реологическая модель волокнистой суспензии древесного происхождения . . . . . 125
- Б. К. Семенов, И. М. Боховкин. Изучение межмолекулярного взаимодействия фурфурола с уксусной кислотой и ее хлорпроизводными методом УФ-спектроскопии . . . . . 129
- Б. Е. Фокин, И. Е. Аракин, Р. З. Пен. Натронно-кислородная варка целлюлозы из лиственницы с применением кальцинированной соды на кислородной ступени . . . . . 132
- В. А. Шамаев. Оценка качества пропитки древесины растворами мочевины . . . . . 136
- Д. А. Беленков, В. А. Селецкая. Исследование токсичности некоторых фтороборатов для плечатого домового гриба . . . . . 140
- Л. Г. Хижняк, А. В. Финкельштейн, А. В. Бышев, Л. Т. Залман, Т. В. Потапова, О. В. Ласыгина. Влияние степени помола и метода обезвоживания на скорость ацетилирования древесной целлюлозы . . . . . 144

#### КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

- А. А. Смирнов. Математическое описание параметров древесины в АСУ ТП сушки . . . . . 149
- Г. Г. Мохорт. К вопросу оптимизации нагрузочных режимов рам лесовозных автомобилей . . . . . 152
- Г. В. Крылов. Аналитическое определение вероятностных характеристик поточных линий лесной и деревообрабатывающей промышленности . . . . . 156

#### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- О. В. Кондзирская, Е. С. Дорожовский, Э. Я. Оксанич. Матричный метод календарного планирования камерной сушки древесины . . . . . 160
- Т. И. Новгородова, А. В. Пластинин, Е. С. Романов, Н. П. Шереметьевская. Производственные объединения на лесозаготовках: опыт и проблемы . . . . . 164
- Л. Е. Баранова, В. С. Люблин, Р. Ф. Сапета. К вопросу о рациональной структуре древесного сырья для производства целлюлозы . . . . . 168

#### НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

- И. Н. Львов. Районирование лесного фонда СССР . . . . . 172

#### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- И. И. Войчалъ. Ценное учебное пособие . . . . . 173

---

## CONTENT

### FORESTRY

<i>G. M. Davidov</i> . The speed of growth of mixed birch forests in the conditions of Leningrad region . . . . .	3
<i>I. I. Gusev</i> . Current growth of stock of the available middle-taiga spruce stands . . . . .	6
<i>A. I. Pitikin, V. P. Kichura</i> . Calculation methods for total output of modal crops . . . . .	12
<i>G. B. Gortinsky, A. I. Tarasov</i> . Comparative analysis of the dynamics of pine and spruce annual growth . . . . .	16
<i>P. M. Verkhunov</i> . Varying taxation values for uneven age pine wood . . . . .	19
<i>V. G. Storozhenko</i> . Using the results of phytopathological investigations for substantiation of improvement felling . . . . .	23
<i>B. I. Ivanenko</i> . Natural forest division of Caluga region . . . . .	26
<i>V. N. Troftimov</i> . On host finding by <i>Ryssella approximata</i> F. . . . .	31
<i>T. S. Momot</i> . Culture in vitro of isolated roots of <i>Larix sibirica</i> Maxim. and <i>L. dahurica</i> Turcz. . . . .	35
<i>Yu. I. Kolesnikov, G. I. Larin, A. F. Pronin</i> . Specific resistance of the PLD-1,2 plough on different categories of forest culture areas . . . . .	37

### FOREST EXPLOITATION

<i>Yu. P. Borisovetz, V. M. Kondratiev, V. N. Hudonogov</i> . Floating in the 10 <sup>th</sup> five-year plan . . . . .	40
<i>A. V. Danilin, V. G. Kochegarov</i> . The results of studying trees package process in improvement felling . . . . .	43
<i>P. D. Klychkov</i> . On optimal specific power and rational loading capacity of lumber auto-train . . . . .	47
<i>R. L. Korovkin, B. V. Uvarov, E. S. Burjak</i> . On the problem of vertical dynamics of timber-carrying auto-train . . . . .	52
<i>I. I. Slepko, E. N. Matveev</i> . Studying dynamics of unlocked conveying rope . . . . .	59
<i>A. F. Litvinova</i> . Transverse vibrations of carrying cable in skyline system while taking load off the ground . . . . .	65
<i>G. Ya. Surov</i> . Agged masses of floating log bunch when it impacts against construction . . . . .	69
<i>F. A. Pavlov, S. I. Morozov</i> . Joint effect of tangent and normal loads on the hauling road surface . . . . .	73
<i>Yu. I. Bagin</i> . Theoretical and experimental investigations of polymere seal . . . . .	77
<i>A. V. Zhukov</i> . Analysis of some kinematic characteristics of the bundling harvester-tree system . . . . .	83

### MECHANICAL TECHNOLOGY AND WOODSCIENCE

<i>B. E. Galinkin, B. I. Kozhevnikov, V. P. Mironov</i> . Determination of certain strain parameters under chip formation . . . . .	88
<i>Yu. V. Malyshev</i> . Theoretical definition of natural frequencies of band saw ribbon in statics . . . . .	92
<i>A. B. Izraelit, R. M. Murzich</i> . Mechanical properties of textolite modified by fluoroplast at increasing temperature . . . . .	95
<i>G. A. Tihomirova</i> . Wear resistance of woodworking tool when milling wood, plasticized with ammonia . . . . .	99
<i>A. V. Alekseev</i> . On the influence of external current in SID system upon some indices of wood cutting process and wearing tools . . . . .	103
<i>A. N. Oblivin, G. N. Afanasjev</i> . Investigation of heat and mass transfer in dense layer of wood particles . . . . .	107

### CHEMICAL WOODWORKING

<i>E. A. Demchenko, V. E. Kovalev, N. P. Markova, V. B. Nekrasova</i> . The influence of unsoaped compounds on the quality of tall oil products . . . . .	113
<i>B. P. Eryhov, A. P. Plotnikov, A. Yu. Stashkjavilchus</i> . On possibility of single parameter non-destructive quality control for cellulose and paper materials . . . . .	117

Content

<i>N. A. Melchakova, N. A. Rusina, Z. P. Elnitskaya, N. I. Chudakou, L. I. Vinogradova, L. N. Naumova.</i> The influence of additions of sodium sulphide upon the properties of cellulose of cold refining . . . . .	122
<i>N. N. Kalinin, A. I. Kiprianov, M. A. Sidorov, Yu. V. Uramov.</i> Reological model of fibre wood suspension . . . . .	125
<i>B. K. Semenov, I. M. Bokhovkin.</i> Studying intermolecular action of furfural with acetic acid and its chlorderivatines by UV-spectroscopy method . .	129
<i>B. E. Fomin, I. E. Arakin, R. S. Fen.</i> The soda-oxygen pulping of larch wood with using $\text{Na}_2\text{CO}_3$ on oxygen stage . . . . .	132
<i>V. A. Shamaev.</i> The estimation of the quality of wood impregnation with urea solutions . . . . .	136
<i>D. A. Belenkou, V. A. Scltskaya.</i> Effectiveness of some fluorine-boron combinations in protection of wood from decay . . . . .	140
<i>L. G. Hlizhniak, A. V. Finkelshtein, A. V. Byeshev, L. T. Salman, T. V. Potapova, O. V. Lasygina.</i> The influence of grinding degree and dehydrating method upon acetylating speed of wood cellulose . . . . .	144

COMPLEX MECHANIZATION  
AND AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESSES

<i>A. A. Smirnov.</i> Mathematical description of wood parameters in automatic management systems of technological drying process . . . . .	149
<i>G. G. Mokhorl.</i> On the problem of optimisation of loading conditions of frames in lumber carries . . . . .	152
<i>G. V. Krylov.</i> Analytical determination of stochastic characteristics of technological lines in forest and wood-working industry . . . . .	156

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF PRODUCTION

<i>O. V. Kondzirskaya, V. S. Dorozhovskiy, E. Ya. Oksanich.</i> Matrix method of calendar planning of kiln drying of wood . . . . .	160
<i>T. I. Novgorodova, A. V. Platinin, E. S. Romanov, N. P. Sheremetievskaya.</i> Forest production associations: some results and problems . . . . .	164
<i>L. E. Baranova, V. S. Lyublin, R. F. Sapeta.</i> On the problem of rational structure of wood raw materials for production of pulp . . . . .	168

SCIENTIFIC CONFERENCES AND DELIBERATIONS

<i>P. N. Lvov.</i> Division into districts the USSR's forest fund . . . . .	172
---	-----

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

<i>P. I. Voichal.</i> Valuable textbook . . . . .	173
---	-----