

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

ГОД ИЗДАНИЯ ДЕВЯТЫЙ

1

1966

АРХАНГЕЛЬСКИЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени В. В. КУЙБЫШЕВА

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Проф. Ф. И. Коперин (отв. редактор), доц. П. И. Войчалъ (зам. отв. редактора), проф. С. Х. Будыка, доц. Г. А. Вильке, проф. И. В. Воронин, проф. А. Э. Грубе, проф. М. Л. Дворецкий, доц. Д. С. Добровольский, доц. Г. Л. Дранишников, проф. М. И. Зайчик, проф. С. Я. Коротов, акад. ВАСХНИЛ проф. И. С. Мелехов, доц. Н. В. Никитин, проф. А. Н. Песоцкий, проф. С. И. Рахманов, доц. Г. Я. Трайтельман, доц. В. В. Щелкунов.

Ответственный секретарь редакции А. И. Кольцова.

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

Выходит 6 раз в год.

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

УДК 634.0.562.2

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКУЩЕГО ПРИРОСТА
НАЛИЧНОГО ДРЕВОСТОЯ
ПО МЕТОДУ НОРМАЛЬНЫХ ВИДОВЫХ ЧИСЕЛ

В. К. ЗАХАРОВ

Профессор, доктор сельскохозяйственных наук
(Белорусский технологический институт)

Рост и развитие насаждений представляет собой сложный диалектический процесс: с одной стороны, в насаждении как совокупности растущих деревьев на данной площади в результате физиологических процессов по мере увеличения возраста происходят изменения количественных и качественных показателей всех таксационных признаков; с другой стороны, наблюдается противоположный процесс — отпад деревьев по различным причинам. В целом описанный процесс носит общее название «прирост насаждений» и может быть выражен формулой

$$\Sigma \Delta_V = M_a - M_{a-n} + S, \quad (1)$$

где $\Sigma \Delta_V$ — текущий прирост насаждений;
 $M_a - M_{a-n}$ — запасы насаждения теперь и n лет назад;
 S — величина отпада за n лет.

Полученную таким способом величину $\Sigma \Delta_V$ будем называть полным текущим приростом в отличие от текущего прироста наличного древостоя за n лет, который обозначим через ΣT_V и выразим уравнением

$$M_a - M_{a-n} = \Sigma \Delta_V - S, \quad (2)$$

то есть прирост древостоя по запасу равен соотношению между $\Sigma \Delta_V$ и S , следовательно, по абсолютной величине может быть положительным, отрицательным и равным нулю. Как известно, величина полного текущего прироста насаждений может быть получена путем повторной таксации постоянных пробных площадей с точным учетом отпада, на временных же пробах фактически устанавливается лишь текущий прирост наличного древостоя по запасу ΣT_V .

Мы приводим результаты определения текущего прироста древостоя на основе нормальных видовых чисел, которые не зависят ни от высот, ни от диаметров на высоте 1,3 м и обуславливаются лишь эколого-биологическими особенностями древесных пород.

Для установления текущего прироста наличного древостоя нами был применен метод использования видовых чисел f_n на двух объектах; таксационная характеристика заложенных в них пробных площадей представлена в табл. 1.

Проба № 1 характеризует смешанное разновозрастное сосново-еловое насаждение состава 5С (180 лет) 5Е (140 лет). Судя по составу и возрастам, возобновление в начальный период происходило чистой сосной; спустя примерно 40 лет под пологом сосны начала возобновляться ель и к возрасту IV—V классов она вошла в первый ярус. Проба № 2 представляет чистое черноольховое насаждение типа леса ольсы ясеневато-таволговый. На заложенных пробных площадях проводили пересчет по четырехсантиметровым ступеням толщины. Все деревья нумеровали, а затем срубали и обмеряли с целью установления текущего прироста по объему за последние 10 лет. Объем каждого ствола вычисляли по общеизвестной секционной формуле (в коре и без коры) теперь и 10 лет назад. Разность объемов без коры давала текущий прирост ствола. Сумма объемных приростов всех срубленных стволов представляет текущий прирост древостоя.

С целью распределения общего прироста древостоя по ступеням толщины, сглаживания исходных данных и контроля обработки строили график линейного изменения приростов по ступеням. Разность ординат по ступеням толщины давала сглаженную величину объемного текущего прироста запасов ступени. Общий суммарный текущий прирост древостоя вычисляли по формуле

$$\Sigma T_V = \Delta_1 n_1 + \Delta_2 n_2 + \Delta_3 n_3 + \dots + \Delta_n n_n. \quad (3)$$

Строили также график соотношений $d_{1,3}$ и H по ступеням толщины (теперь и 10 лет назад).

В соответствии с принятой методикой исследования для всех стволов определяли значение нормальных видовых чисел

$$f_n = V_{\text{ств}} : g_{0,1} \cdot H.$$

Среднее значение f_n для каждой породы вычисляли по результатам обработки вариационных рядов. Полученные статистические показатели приведены в табл. 2.

Для сосны f_n без коры получилось несколько большим, чем с корой, что объясняется увеличенной толщиной коры в комлевой части дерева и повышенной полндревесностью ствола без коры. Для стволов ели и ольхи f_n в коре и без коры практически одинаковы, что обусловлено незначительным изменением толщины коры на протяжении всей высоты ствола.

Для вычисления текущего прироста древостоя по способу нормальных видовых чисел необходимо располагать суммой площадей сечений на высоте 0,1 H теперь $\Sigma G_{0,1}$ и 10 лет назад $\Sigma g_{0,1}$, а также высоты H и h . Эти данные получаются по графику линейной связи между $d_{1,3}$ и H по ступеням толщины, а высоты H и h — по кривой высоты.

Основные данные для последующих расчетов ΣT_V по методу нормальных видовых чисел представлены в табл. 3.

Таблица 3

№ пробных площадей	Порода	Число стволов	$\Sigma G_{0,1}$, м ²	$\Sigma g_{0,1}$, м ²	Процент прироста по площади сечения P_g^*
1	Сосна	40	4,518	4,102	0,96
"	Ель	70	4,433	3,762	1,66
2	Ольха черная	200	10,145	7,900	2,48

* P_g определяли по формуле Пресслера.

Таблица 1

№ пробных площадей, га	Порода	Состав	Возраст	Средние		Класс бонитета	Тип леса	Тип условий местопроизрастания	Число стволов на пробе на 1 га		Сумма площадей семян на пробе на 1 га		Полнота	Запас (м³) на пробе на 1 га	Среднее изменение запаса, м³/га	Процент текущего прироста древостоя
				H	D				на 1 га	на 1 га	на 1 га	на 1 га				
1 0,40	Сосна	5,2С	180	25,1	42,8	III	Сосняк долгомошниковый	A ₄	40 100	5,81	68,9 172,2	0,4	0,95	0,97		
	Ель	4,8Е	140	23,8	31,4	III			70 175	5,39 13,50	64,3 160,7	0,3	1,15	1,81		
Итого 2 0,49		5С5Е							110 275	11,20 28,00	133,2 333	0,7	2,10	1,37		
	Ольха черная	10Ол	60	24,5	28,6	I	Ольс ясеневый	D ₅	200 412	12,80 26,20	154,4 310	0,7	5,20	2,68		

Таблица 2

№ пробных площадей	Порода	Число наблюдений	Статистические показатели варьирования							
			в коре			без коры				
			M+m	σ	W	P	M+m	σ	W	P
1	Сосна	40	0,532 ± 0,006	0,038	7,29	1,15	0,552 ± 0,007	0,045	8,27	1,31
	Ель	70	0,525 ± 0,004	0,033	6,23	0,74	0,523 ± 0,005	0,039	7,40	0,88
2	Ольха черная	200	0,510 ± 0,002	0,040	7,80	0,40	0,510 ± 0,002	0,038	7,40	0,40

Располагая приведенными в табл. 3 величинами сумм площадей сечений $\Sigma G_{0,1}$ и $\Sigma g_{0,1}$, а также высотами H и h , нетрудно установить прирост древостоев по запасу на пробах за последние 10 лет по формуле (без коры)

$$M_a - M_{a-n} = f_n(\Sigma G_{0,1}H - \Sigma g_{0,1}h).$$

Проба № 1: для сосны

$$\Sigma T_V = M_a - M_{a-n} = 6,46 \text{ м}^3;$$

для ели

$$\Sigma T_V = M_a - M_{a-n} = 10,46 \text{ м}^3.$$

Всего на пробе 16,92 м³, фактическая величина 16,58 м³, разница 0,34 м³ составляет 2,05%; прирост за один год на пробе 1,69 м³ и на 1 га 4,23 м³.

Проба № 2: для ольхи черной

$$\Sigma T_V = M_a - M_{a-n} = 35,95 \text{ м}^3$$

или ежегодно на пробе 3,59 м³ и 7,30 м³ на 1 га. Разница с фактической величиной 36,63 м³ составляет 0,68 м³ или 1,85%.

Распределение полученного текущего прироста древостоев по ступеням толщины приведено на рис. 1. Таким образом, способ нормальных видовых чисел показал высокую точность определения абсолютного текущего прироста наличного древостоя ΣT_V .

Заслуживает внимания соотношение между средним изменением запаса и текущим приростом древостоя на пробах в переводе на 1 га (табл. 4).

Таблица 4

№ ых дей	Порода	Возраст	Средние измене- ния запаса (z_V), м ³ /га	Текущий при- рост древеси- ны, м ³ /га	Соотноше- ние
1	Сосна	180	0,95	1,61	1,69
	Ель	140	1,15	2,62	2,36
Итого . . .			2,10	4,23	2,02
2	Ольха черная	60	5,20	7,30	1,40

Из таблицы видно, что наблюдается превышение текущего прироста древостоя над величиной среднего изменения запаса обеих проб.

Анализируя этот процесс по формуле (2), заключаем, что в данном случае, поскольку левая часть равенства имеет положительный знак, то и в правой части разность также положительна. Таким образом, текущий прирост древостоя ΣT_V превышает величину отпада S , следовательно, наблюдается новое соотношение между ΣT_V и z_V , отличающееся от получаемого по таблицам хода роста насаждений.

Для разрешения поставленных задач был использован также выборочный метод установления величины прироста запасов древостоев.

С этой целью путем механического отбора из числа обработанных карточек из трех центральных ступеней толщины было взято на пробе № 1—10 стволов ели и 8 стволов сосны и на пробе № 2—15 стволов ольхи черной. По этим материалам была исчислена величина текущего прироста древостоя по способу нормальных видовых чисел с переводом полученных результатов на величину пробы.

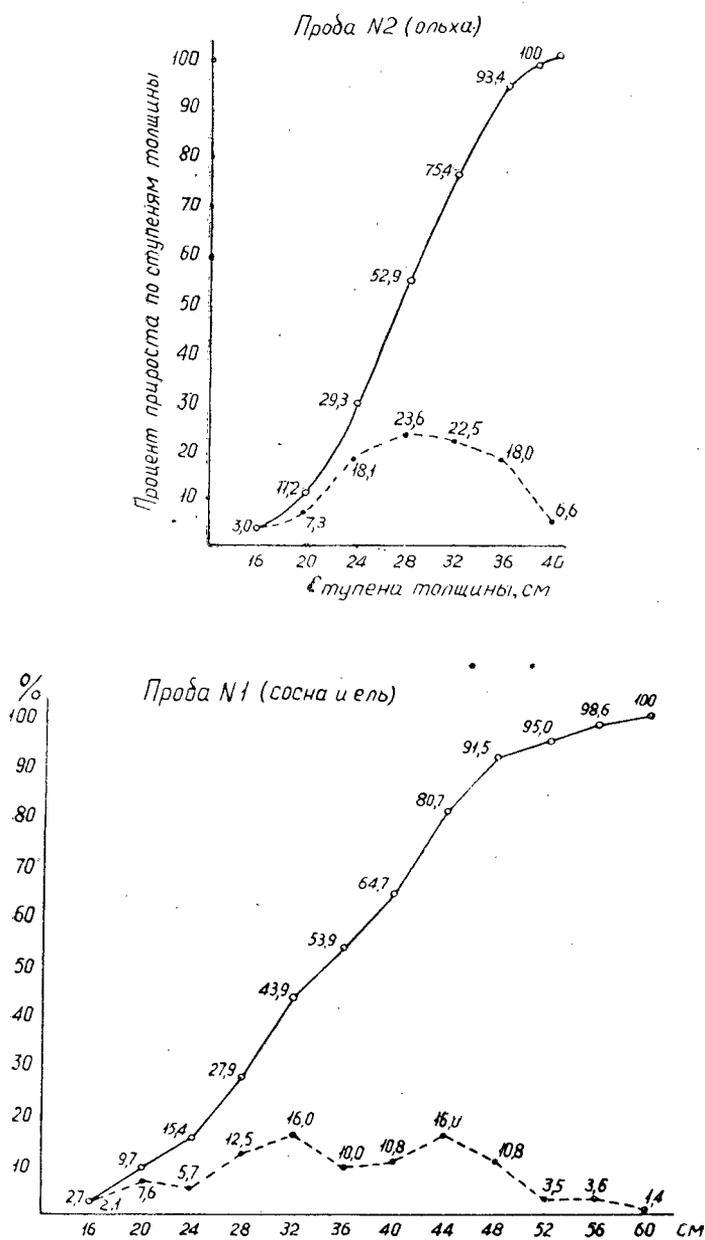


Рис. 1. Распределение по ступеням толщины текущего изменения запасов древостоя по нарастающим процентам (огива).

Расчеты прироста по запасу древостоя производили по формуле

$$\Sigma T_V = f_n (\Sigma G'_{0,1} H - \Sigma g'_{0,1} h) K, \tag{4}$$

где $\Sigma G'_{0,1}$ — сумма площадей сечений моделей на 0,1 H теперь;
 $\Sigma g'_{0,1}$ — то же 10 лет назад;
 H и h — средние высоты деревьев теперь и 10 лет назад;

K — переводные коэффициенты, определяющие отношение суммы площадей сечений пробы теперь к сумме площадей сечений взятых учетных деревьев, которые составили: для сосны 2,53; для ели — 4,43 и для ольхи — 13,65.

По формуле (4) были получены следующие результаты текущего прироста древостоев на пробах: для сосны $\Sigma T_V = 5,8 \text{ м}^3$; для ели $\Sigma T_V = 11,0 \text{ м}^3$; итого на пробе № 1 — $16,8 \text{ м}^3$; фактическая величина прироста $16,58 \text{ м}^3$; разность $0,22 \text{ м}^3$ или $1,32\%$. Для ольхи черной $\Sigma T_V = 35,8 \text{ м}^3$; разница с фактическими данными составила $0,8 \text{ м}^3$ или $2,2\%$. Таким образом, величина текущего прироста запасов древостоя по учетным деревьям, взятым из трех центральных ступеней толщины, при исчислении по методу нормальных видовых чисел — получена с высокой точностью ($1,32-2,20\%$).

Установление величины относительного текущего прироста древостоев по данным исследования было проведено с использованием формулы Пресслера $P = \frac{200}{n} \cdot \frac{M_a - M_{a-n}}{M_a + M_{a-n}}$ и дало следующие результаты за период в 10 лет.

$$\text{Проба № 1} \left\{ \begin{array}{l} \text{сосна: } P_V = \frac{200}{10} \cdot \frac{6,56}{68,9 + 62,3} = \frac{127}{131} = 0,97\%; \\ \text{ель: } P_V = \frac{200}{10} \cdot \frac{10,52}{64,3 + 53,6} = \frac{210,4}{118,1} = 1,81\%; \\ \text{среднее: } P_V = \frac{200}{10} \cdot \frac{17,02}{133,2 + 116,2} = \frac{340,4}{249,4} = 1,37\%. \end{array} \right.$$

$$\text{Проба № 2: ольха} - P_V = \frac{200}{10} \cdot \frac{36,6}{154,4 + 117,8} = \frac{732,0}{272,2} = 2,68\%.$$

Из этих данных видно, что процент текущего прироста древостоя ольхи черной почти вдвое выше, чем в смешанном сосново-еловом насаждении высокого возраста. Приведенные здесь проценты фактического текущего прироста древостоя уместно сопоставить с показателями табл. 3 — процентами прироста древостоев по площади сечения деревьев на $0,1 H (F_g)$ теперь и 10 лет назад.

$$\text{Проба № 1} \left\{ \begin{array}{l} \text{сосна—40 стволов; } P_g = 0,96\%; P_V = 0,97\%; \text{ разность—}0,5\%; \\ \text{ель—70 стволов; } P_g = 1,66\%; P_V = 1,81\%; \text{ разность—}8,3\%. \end{array} \right.$$

$$\text{Проба № 2: ольха—200 стволов; } P_g = 2,48\%; P_V = 2,68\%; \\ \text{разность—}5,85\%.$$

Как видим, получены весьма близкие результаты по обоим способам.

В таблицах хода роста насаждений величину общего текущего и общего среднего приростов насаждений следует показывать лишь по данным общей продуктивности насаждений, включающей, помимо запаса древостоя, также и величину отпада. В отношении наличного запаса древостоя вместо термина «текущий прирост» нужно указывать «текущий прирост наличного древостоя», а вместо «средний прирост» — «среднее изменение запаса древостоя».

УДК 634.0.232.318

ВЛИЯНИЕ КИСЛОРОДА, РАСТВОРЕННОГО В ВОДЕ, НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Б. В. БАБИКОВ

Аспирант

(Ленинградская лесотехническая академия)

До настоящего времени при изучении влияния длительного намачивания семян на всхожесть снижение ее увязывали только с температурой и кислотностью воды [5], [6]; влияние же кислорода, растворенного в воде, не учитывали.

Известно [4], что прорастание семян, находящихся в воде, происходит успешно лишь при наличии кислорода, растворенного в ней. Обедненность воды кислородом ускоряет гибель семян. Исследованиями последних лет установлено, что почвенные воды неосушенных переходных болот бедны растворенным кислородом. Содержание его не увеличивается и после осушения болот [1], [3].

Для изучения влияния на всхожесть намачиваемых семян сосны обыкновенной растворенного в воде кислорода в 1963 и 1964 гг. были проведены опыты в полевых и лабораторных условиях. В полевых условиях семена в пятикратной повторности закладывали в торфяную почву неосушенного сфагнового болота на глубину 10 и 25 см. Среднее содержание растворенного кислорода на глубине 10 см равнялось 0,51 мг/л, а на глубине 25 см его почти не было на протяжении всего периода опыта. Контролем служили семена, помещенные в канаву с проточной водой, вытекающей из болота. Содержание кислорода в контроле в первой половине времени опыта составляло 6,0—7,7 мг/л. В дальнейшем, в связи с понижением глубины воды в канаве и уменьшением ее проточности, содержание кислорода понизилось, составив в конце опыта 1,8 мг/л. Семена намачивали в течение 50 суток, а для проращивания их отбирали через каждые 8 суток, за исключением последнего периода, когда семена были взяты через 10 суток. Проращивание проводили в лаборатории в течение 16 суток. Результаты исследований приведены на рис. 1 (сплошные линии).

Учитывая, что в условиях полевого опыта на всхожесть семян, кроме растворенного кислорода, могли оказать влияние и другие экологические факторы, был поставлен опыт по намачиванию семян и в лабораторных условиях. Семена помещали в дистиллированную воду, лишенную кислорода. Кислород был поглощен щелочным раствором пирогаллола в токе воздуха, пропускаемого через воду с помещенными в нее семенами сосны в закрытых колбах. Для этого колбы с семенами и колбу с поглотителем с помощью резиновых шлангов и трубок с кранами соединяли в замкнутую систему. Воздух, лишенный кислорода, из

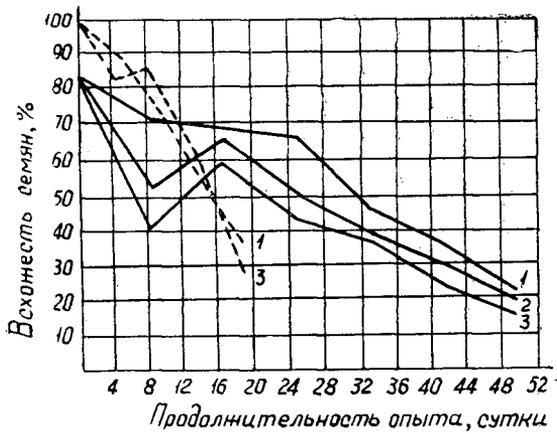


Рис. 1.

1 — контроль; 2 — вода с малым содержанием кислорода;
3 — вода, лишенная кислорода.

колбы с поглотителем перекачивали 3—4 раза в сутки через воду в колбах с семенами, чтобы он поглотил кислород.

Контролем служили семена, намачиваемые в такой же воде, непосредственно сообщавшейся с воздухом лаборатории. Содержание кислорода в воде контрольных колб составляло 5,90—7,03 мг/л, в опытных колбах кислород отсутствовал. Изменение всхожести семян лабораторного опыта представлено на рис. 1 (пунктирная линия).

Исследования показали, что семена, находившиеся в условиях разного содержания кислорода, неодинаково изменяли всхожесть. После 8 суток пребывания в грунтовой воде болота, лишенной кислорода, всхожесть семян во всех пяти повторностях резко понизилась, составив в среднем 42% (с колебаниями от 29 до 56%), что составляло 60% от всхожести семян, намоченных в проточной воде с высоким содержанием кислорода. Еще через 8 суток семена, находившиеся в анаэробных условиях, как бы приспособились к ним. Их средняя всхожесть повысилась с 42 до 60% (53—69%). За это время всхожесть семян, находившихся в проточной воде в аэробных условиях, продолжала постепенно понижаться и достигла 68%. Семена в проточной воде через 16 дн. проросли на 15—20%. Однако развившиеся проростки через 8—10 дн. после появления полностью погибли. В бескислородной среде проростки не появлялись. Следовательно, для обеспечения прорастания семян на болотах необходимо обязательное удаление воды из верхнего слоя торфа. Через 32 дн. семена, намачиваемые в проточной воде, начали гнить. К концу опыта, то есть через 50 дн. пребывания семян в проточной воде, средняя всхожесть их составила $20,6 \pm 1,5\%$, а в воде без кислорода $13,7 \pm 1,1\%$.

Проверка значимости различия всхожести за время опыта произведена с помощью *t*-критерия [2]. Установлено, что *t*-критерий равен 2,411. Это показывает, что при восьми степенях свободы полученная в опыте разность всхожести семян существенна, вероятность более 95%.

Следовательно, влияние кислорода, растворенного в воде, на всхожесть семян сосны статистически доказано.

Кривая изменения всхожести семян в воде с малым содержанием кислорода почти полностью повторяет кривую потери всхожести семян в

бескислородной среде, но показатели всхожести в первом случае несколько выше. Еще больше различалась энергия прорастания семян. Для семян из проточной воды она составляла 14%, а из бескислородной — 7%.

Результаты лабораторного опыта показали, что изменение всхожести происходит в основном в той же последовательности, что и в полевом опыте.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Б. В. Бабиков. О водном режиме осушенных торфяных почв и его влиянии на рост культур сосны. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 6, 1964. [2]. Н. Бейли. Статистические методы в биологии. ИЛ, М., 1962. [3]. С. Э. Вомперский. Лесоводственная эффективность гидромелиорации. Журн. «Лесное хозяйство» № 9, 1964. [4]. В. Крокер, Л. Бартон. Физиология семян. ИЛ, М., 1955. [5]. Г. Е. Пятецкий. Влияние избыточного увлажнения на всхожесть, прорастание семян и приживаемость всходов хвойных пород. Изд. Карельского и Кольского филиалов АН СССР, № 2, 1958. [6]. З. А. Сибирева. Изменение всхожести семян сосны и ели в зависимости от продолжительности их замачивания и кислотности среды. Труды Института леса АН СССР, т. 31, 1955.

Поступила в редакцию
21 июня 1965 г.

УДК 634.0 231

УЧАСТИЕ ЛИСТВЕННИЦЫ В ВОЗОБНОВЛЕНИИ ЛЕСОСЕК ПОСЛЕ СПЛОШНЫХ РУБОК СОСНОВЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

Р. В. ЛАМАНОВА

Аспирант

(Уральский лесотехнический институт)

Для исследования были взяты три типа леса из наиболее распространенных на Среднем Урале групп лесорастительных условий*, а в каждом типе — лесосеки двух-, пяти- и десятилетней давности, с одинаковой технологией разработки, наличием семенников и отсутствием пожаров. Ширина лесосек 100 м, на их площади достаточно равномерно размещены семенники сосны из расчета 10—15 шт. на 1 га. Семенники лиственницы обычно располагаются группами не менее трех деревьев, но иногда встречаются и одиночно стоящие деревья. Для того чтобы констатировать результаты возобновления в указанных лесорастительных условиях, на каждом объекте заложено в среднем 442 площадки. Общий ход возобновления на лесосеках двухлетней давности, в зависимости от типов леса, характеризует табл. 1. Лесосеки сосняка разнотравного, где идет процесс задернения и зарастания вейником лесным, возобновляются неудовлетворительно. Особенно слабо восстанавливается лиственница.

Вырубки сосняков ягодниковых и брусничников зарастают вейником медленнее, а поэтому имеет место незначительное их задернение, не препятствующее возобновлению таких пород, как сосна и лиственница. Общий ход возобновления на лесосеках этого возраста в сосняке ягодниковом и брусничнике можно признать удовлетворительным.

На лесосеках пятилетней давности, когда начинается процесс деградации вейника, дальнейшее задернение прекращается, возобновление в сосняке разнотравном идет удовлетворительно (табл. 1). Лиственница же, хотя и возобновляется, но не так хорошо, как в двух других типах.

Вырубки сосняков ягодниковых и брусничников возобновились достаточно хорошо. Отсутствие существенного влияния травяного покрова благоприятно сказывается на возобновлении лиственницы. На вырубках обоих типов леса в составе возобновления преобладают хвойные породы.

На лесосеках десятилетней давности, когда травяной покров, в результате сильной деградации вейника, восстанавливается группами бывших лесных ассоциаций, в сосняке разнотравном возобновление можно признать хорошим. Лиственница же в таких условиях восстанавли-

* Н. А. Коновалов, В. М. Ионин. Типы сосновых лесов Свердловской области, их возобновление и хозяйственное значение. Сборник по обмену опытом на предприятиях лесного хозяйства Свердловской области, Свердловск, 1959.

Таблица 1

Порода	Количество молодняка на 1 га					
	в сосняке ягодниковом		в сосняке-брусничнике		в сосняке разнотравном	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Лесосеки двухлетней давности						
Сосна	5100	44±0,46	5433	54±0,45	1922	27±0,52
Лиственница	2000	17±0,35	1233	12±0,32	577	7±0,30
Ель	1000	8±0,25	833	8±0,26	1333	18±0,45
Итого хвойных	8100	69±0,43	7499	74±0,44	3832	52±0,58
Лиственные	3500	31±0,43	2550	26±0,44	3522	48±0,58
Всего	11600		10049		7354	
Лесосеки пятилетней давности						
Сосна	8016	59±0,43	7254	63±0,43	3933	38±0,48
Лиственница	2533	18±0,33	1218	11±0,28	933	8±0,26
Ель	166	1±0,08	236	1±0,09	1400	14±0,35
Итого хвойных	10715	78±0,37	8708	75±0,40	6266	60±0,49
Лиственные	2783	22±0,37	2999	25±0,40	3933	40±0,49
Всего	13498		11707		10199	
Лесосеки десятилетней давности						
Сосна	8120	54±0,40	8153	60±0,41	5300	30±0,35
Лиственница	2343	15±0,35	1358	10±0,25	733	4±0,14
Ель	1063	7±0,21	920	7±0,22	2100	12±0,25
Итого хвойных	11526	76±0,36	10431	77±0,36	8133	46±0,38
Лиственные	3420	24±0,26	3166	23±0,36	9033	54±0,38
Всего	14946		13597		17166	

вается очень слабо. В общем составе молодняков преобладают лиственные породы. Вырубки сосняков ягодниковых и сосняков-брусничников возобновляются хорошо с большей долей хвойных пород в составе подраста. Лиственница в обоих типах леса восстанавливается вполне удовлетворительно.

Чтобы вести эффективную борьбу с травянистой растительностью, при содействии возобновлению лиственницы на богатых почвах сосняков разнотравных, необходимо использовать гербициды.

УДК 634.0.56

РОСТ ЕЛИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ В ЕЛОВО-ЛИСТВЕННЫХ МОЛОДНЯКАХ

Л. Б. КАЛИНИН

Аспирант

(Ленинградская лесотехническая академия)

Молодое поколение ели в елово-лиственных молодняках весьма разнокачественно и состоит из деревцев, различающихся между собой по высоте, возрасту, внешнему виду, физиологическому состоянию и т. д. Произрастая преимущественно группами среди деревьев лиственных пород и в «окнах», подрост ели обладает обычно и различной энергией роста.

Детальным исследованиям экологических условий и физиологических свойств подрост ели начали уделять внимание лишь в последние годы [1], [2], [3], [4], [5].

Ниже приведены некоторые результаты изучения экологических особенностей в смешанных молодняках 15—20-летнего возраста *. В таких молодняках ель в качественном отношении уже сильно дифференцирована. Данное обстоятельство позволило подразделить все еловые и елово-лиственные группы на несколько категорий по энергии роста ели в них. Руководящим началом такого подразделения послужили средний прирост за последние 5 лет и количество световой хвои у деревцев ели. Обобщенные данные обработки 150 модельных деревцев ели приведены в табл. 1.

Указанные категории легли в основу экологических исследований (изучения условий освещенности, температуры и относительной влажности воздуха, температуры почвы).

В опытных объектах освещенность измеряли люксметром Ю16, с применением светофильтров. Температуру атмосферного воздуха и почвы определяли электротермометром ПТЭТ-62 с полупроводниковыми датчиками, обеспечивающими нахождение температуры сразу в десяти точках с высокой точностью. Влажность воздуха измеряли электропсихрометром.

О результатах исследований освещенности в группах ели разной энергии роста можно судить по данным табл. 2.

Как видно из табл. 2, освещенность на уровне середины живой кроны и у вершин деревцев в группах ели очень хорошего и хорошего роста составляет в мае и июне 11—52 тыс. лк, или 20—80% от освещенности открытого места. В группах умеренного роста ели на таком же уровне

* Исследование проводили в 1963—1964 гг. в Лисинском учебно-опытном лесхозе в типе леса ельник-черничник.

Таблица 1

Рост подроста ели	Средние данные модельных деревьев ели				Средний прирост за последние 5 лет, см				Средние данные о количестве хвои, %		
	возраст, лет	диаметр, см	высота, см	1959	1960	1961	1962	1963	световой	полутеневой	
											тепловой
Очень хороший	22	4,8	515	50,0	49,0	58,6	53,7	45,6	63,7	28,6	8,3
Хороший	19	3,6	425	40,7	41,6	41,0	36,0	34,6	51,4	25,6	23,2
Умеренный	22	2,6	298	29,9	33,3	30,7	26,0	25,6	18,7	38,0	45,0
Плохой	19	1,2	191	11,3	12,9	14,5	11,6	9,2	3,7	38,0	61,5

Таблица 2

Дата наблюдений	Освещенность (лк) в группах ели																								
	очень хорошего роста				хорошего роста				умеренного роста				плохого роста												
	на уровне дны крон	у поверхности почвы	у верхней части крон	на уровне дны крон	у поверхности почвы	у верхней части крон	на уровне середины крон	у поверхности почвы	у верхней части крон	на уровне середины крон	у поверхности почвы	у верхней части крон	на уровне середины крон	у поверхности почвы	у верхней части крон	на уровне середины крон	у поверхности почвы	у верхней части крон	на уровне середины крон	у поверхности почвы	у верхней части крон	Освещенность на открытом месте (сплошная вырубка)			
14.V	2200	2600	40000	8800	39000	1300	4500	30000	1200	3800	19000	45000	14.V	2200	2600	40000	8800	39000	1300	4500	30000	1200	3800	19000	45000
6.VI	2200	2500	44000	10900	43000	1700	6000	33000	1000	3300	12000	56000	6.VI	2200	2500	44000	10900	43000	1700	6000	33000	1000	3300	12000	56000
29.VI	1950	1080	52000	11000	43000	950	2200	19000	1000	2150	6600	64000	29.VI	1950	1080	52000	11000	43000	950	2200	19000	1000	2150	6600	64000
3.VII	1900	1400	52000	10000	45000	620	2500	21000	430	1900	6400	66000	3.VII	1900	1400	52000	10000	45000	620	2500	21000	430	1900	6400	66000
30.VIII	860	650	21000	3400	12000	400	900	2800	410	650	2600	38000	30.VIII	860	650	21000	3400	12000	400	900	2800	410	650	2600	38000
25.IX	670	620	17000	2200	7800	380	1050	2200	1400	2100	4800	27000	25.IX	670	620	17000	2200	7800	380	1050	2200	1400	2100	4800	27000

освещенность составляет 10—50%, в группах плохого роста еще меньше, хотя в мае (пока деревья еще недостаточно облиственны) она еще велика (8—42%). В начале июня освещенность в таких группах постепенно снижается (6—21%), а в конце июня она составляет всего 3—8% от освещенности открытого места.

Г. Полстер [6] установил, что для наилучшего продуцирования ели оптимальные условия освещения находятся в пределах 20—50% от освещенности открытого места. Следовательно, по нашим данным, условия освещенности в период усиленного роста ели в высоту в мае — июне несколько недостаточны в группах умеренного роста и совершенно далеки от оптимума в группах плохого роста, в которых, по-видимому, отяжняющий полог деревьев лиственных пород является основным тормозом нормального роста деревцев ели. Разнообразие световых условий в группах ели сказывается и на различии других экологических элементов в группах, в частности, на температурном режиме атмосферного воздуха.

Результаты наблюдений за температурой воздуха в отдельные дни вегетационного периода 1963 г. в группах ели приведены в табл. 3.

Таблица 3

Дата наблюдений	Температура атмосферного воздуха (°C) в группах ели				Температура воздуха на открытом месте (салонная вырубка), °C
	очень хорошего роста	хорошего роста	умеренного роста	плохого роста	
14.V	18,2 <u>20,0</u>	17,8 <u>20,0</u>	16,6 <u>18,0</u>	16,4 <u>16,6</u>	16,0
6.VI	23,0 <u>26,0</u>	23,5 <u>26,0</u>	22,5 <u>23,5</u>	22,3 <u>23,2</u>	26,0
29.VI	22,6 <u>22,6</u>	21,2 <u>21,5</u>	20,6 <u>21,2</u>	21,2 <u>21,2</u>	23,6
3.VII	17,4 <u>19,7</u>	17,4 <u>19,4</u>	16,8 <u>19,2</u>	18,0 <u>19,1</u>	23,0
30.VIII	17,0 <u>19,8</u>	22,2 <u>23,4</u>	22,1 <u>23,2</u>	20,2 <u>23,8</u>	24,5
25.IX	17,1 <u>19,0</u>	17,5 <u>18,3</u>	16,5 <u>18,6</u>	16,9 <u>18,4</u>	19,4
Среднее	18,7 <u>21,2</u>	19,9 <u>21,4</u>	19,8 <u>20,6</u>	19,3 <u>20,2</u>	22,0

Примечание. В числителе — температура на поверхности почвы; в знаменателе — в верхней части кроны. Температуру воздуха измеряли в 14 час; приведенные данные являются средними из 3—5 измерений.

Из данных таблицы видно, что в рассматриваемых группах ели температура воздуха на поверхности почвы обычно несколько ниже (на 1—2°), чем на уровне верхней части крон деревцев ели.

Температура воздуха в верхней части крон, как правило, несколько выше (на 1—1,6°) в группах ели повышенной интенсивности роста (очень хорошего и хорошего роста).

Наибольшая разница между температурой воздуха на поверхности почвы и на уровне верхней части крон деревцев ели характерна для групп повышенной энергии роста. Так, в группах ели очень хорошего роста в среднем за весь период наблюдений эта разница составляет 2,5°, а в группах ели плохого роста она соответственно равна 0,9°.

Экологическим фактором, тесно связанным с температурой атмосферного воздуха, является относительная влажность воздуха. Как известно, повышение ее от оптимума отрицательно влияет на процессы фотосинтеза, дыхания и транспирации, а также на развитие корневой системы деревьев ели [1], [2], [3], [5].

Результаты изучения относительной влажности воздуха в группах ели различной энергии роста приведены в табл. 4.

Таблица 4

Дата наблюдений	Относительная влажность воздуха (%) в группах ели				Относительная влажность воздуха на открытом месте (сплошная выруб-ка), %
	очень хорошего роста	хорошего роста	умеренного роста	плохого роста	
14.V	49	53	52	61	45
	45	45	49	57	
6.VI	49	58	66	69	43
	43	47	60	66	
29.VI	46	55	58	62	39
	40	44	47	55	
3.VII	54	60	60	69	46
	47	52	54	60	
30.VIII	65	68	73	76	50
	51	58	68	70	
25.IX	70	70	75	78	52
	53	56	69	75	
Среднее	55,4	60,7	64,0	69,1	46
	46,3	50,3	57,8	64,6	

Примечание. В числителе — температура на поверхности почвы; в знаменателе — в верхней части кроны. Относительную влажность воздуха измеряли в 14 час; приведенные данные являются средними из 3—5 измерений.

Относительная влажность воздуха в полуденные часы при солнечной погоде на поверхности почвы во всех объектах исследования несколько выше, чем в верхней части кроны деревьев. Однако такое колебание ее наиболее резко выражено в группах ели повышенной энергии роста.

Так, относительная влажность воздуха в группах ели очень хорошего и хорошего роста колеблется от 9,1 до 11,3%, а в группах ели умеренного и плохого роста — от 4,1 до 6,8%.

Судя по средним данным (табл. 4), относительная влажность воздуха в верхней части кроны, как правило, несколько выше (на 12—13%) в группах ели пониженной энергии роста.

Влажность воздуха в группах ели обычно выше, чем на открытом месте.

Исследования температуры почвы в группах ели показывают, что температура почвы 5—6° [3], необходимая для начала роста корней, наблюдается в группах ели почти в одно и то же время. Отсюда можно заключить, что энергия роста деревьев ели сравнительно мало зависит от времени начала роста корней.

Оптимальная температура для роста корней (11—13°) более длительный период сохраняется в группах ели повышенной энергии роста.

В заключение следует отметить, что в смешанных 15—20-летних елово-лиственных молодняках подрост ели, преимущественно группового расположения, обладает большой разнокачественностью и отличается различной энергией роста. Основной причиной этого являются определенные экологические особенности. Учитывая значительную дифференцированность подраста ели, для создания наилучших экологических условий в таких молодняках можно рекомендовать выборочно-гнездовой способ ухода за подростом ели.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. К. А. Гар, И. В. Гулидова. Режим освещения и фотосинтез у елового, березово-еловых древостоев Вологодской области. Физиологические основы роста древесных растений, Институт леса и древесины СО АН СССР, 1960. [2]. И. В. Гулидова. К вопросу о физиологических причинах дифференциации деревьев по классам роста. Физиологические основы роста древесных растений, Институт леса и древесины, СО АН СССР, 1960. [3]. Л. А. Иванов. Свет и влага в жизни наших древесных пород. Доклад на пятом Тимирязевском чтении, изд-во АН СССР, М.—Л., 1946. [4]. И. С. Мелехов. Рубки и возобновление леса на Севере. Архангельское книжное изд-во, 1960. [5]. З. М. Науменко. Жизнеспособность подраста ели на сплошных вырубках. Ленинград—Магадан, 1962. [6]. G. Polster. Die Holzerzeugung unserer einheimischen Laub- und Nadelbäume in Abhängigkeit von den Klimatischen Bedingungen. Forstwirtschaft, Heft 8, 1951.

Поступила в редакцию
7 июня 1965 г.

УДК 634.0.56

ХОД РОСТА СОСНОВО-БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ВЫСШЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

О. А. НЕВОЛИН

Старший преподаватель

(Архангельский лесотехнический институт)

В настоящее время в лесном хозяйстве повсеместно применяют таблицы хода роста чистых древостоев. Таблиц хода роста для смешанных древостоев нашей страны пока еще очень мало.

На важность изучения сложной природы леса, формирования и роста смешанных насаждений в разное время указывали разные авторы [11], [15], [8], [4], [1], [7] и др.

В статье приведены основные данные по исследованию роста сосново-березовых древостоев как наиболее представленных в смешанных сосняках Архангельской области. Из них исследованы древостои высшей производительности.

Опытные таблицы хода роста составлены на основании 54 пробных площадей*, представляющих два естественных ряда развития сосново-березовых древостоев (табл. 1).

Таблица 1

Тип леса, класс бонитета	Распределение пробных площадей по классам возраста								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	всего
Pinetum betuleto-oxalidosum, II	1	5	7	5	1	1	—	1	21
Pinetum betuleto-myrttillosum, III	2	8	10	3	2	4	3	1	33
Итого	3	13	17	8	3	5	3	2	54

Естественные ряды подбирали по способу Н. В. Третьякова [2] с использованием установленных закономерностей и анализов хода роста в высоту наиболее развитых и средних деревьев сосны и березы.

Установлено, что изменение с возрастом средних высот и средних диаметров выражается уравнением прямой линии: у сосны с 45—50 лет, у березы с 45 лет. Поэтому выравнивание этих таксационных показателей с 45—50-летнего возраста произведено по уравнению вида

$$TA = aA + b,$$

* Пробные площади заложены в Плесецком, Виноградовском, Няндомском, Коношском, Устьгьянском и Вилегодском районах Архангельской области.

где T — таксационный показатель;
 A — возраст;
 a, b — некоторые постоянные коэффициенты.

До 45-летнего возраста изменение средних высот и диаметров установлено по фактическим замерам на пробах и анализам модельных деревьев.

Связь между возрастом и средней высотой и диаметром в сосново-березовых древостоях характеризуется следующими частными уравнениями:

	Сосна	Береза
<i>Pinetum betuleto-oxalidosum</i> , II класс бонитета	$HA=35,1 A-906$ $DA=38,0 A-1205$	$HA=31,9 A-811$ $DA=25,8 A-678$
<i>Pinetum betuleto-myrttilosum</i> , III класс бонитета	$HA=30,1 A-751$ $DA=35,2 A-1137$	$HA=26,0 A-582$ $DA=21,1 A-487$

Одним из трудных для изучения вопросов является изменение с возрастом состава смешанных древостоев. Для этого требуются многие десятилетия наблюдений на постоянных пробных площадях. Своих данных мы не имеем и используем экспериментальные материалы длительных стационарных наблюдений в лесной опытной даче Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева [10], [13]. Опытные данные по всем пробам указывают на очень медленное изменение состава древостоев с возрастом.

Обработанный нами на счетных машинах массовый таксационный материал, с определением средних составов сосново-березовых древостоев по классам возраста, также свидетельствует о медленном изменении состава (табл. 2).

Таблица 2

Класс бонитета	Средний состав по классам возраста								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
II	5С5Б	6С4Б	7С3Б	7С3Б	7С3Б	7С3Б	—	—	—
III	6С4Б	6С4Б	6С4Б	7С3Б	7С3Б	7С3Б	7С3Б	7С3Б	8С2Б

К аналогичному выводу в других районах нашей страны пришли А. И. Котов [5], В. С. Мирошников [9], Г. П. Тимофеев [12].

После приведения пробных площадей к одной полноте (1,0) и наиболее вероятному составу (табл. 2) произведено графическое выравнивание сумм площадей поперечных сечений по составляющим породам и в целом для древостоя. При этом найдено, что связь сглаженных сумм площадей поперечного сечения с возрастом до наступления периода распада древостоя (в возрасте около 130 лет) хорошо передается уравнением прямой линии для сосны с 40—50 лет, для березы с 30—40 лет, а именно:

	Сосна	Береза
<i>Pinetum betuleto-oxalidosum</i> , II класс бонитета	$\Sigma G \cdot A=33,3 A-751$	$\Sigma G \cdot A=12,8 A-145$
<i>Pinetum betuleto-myrttilosum</i> , III класс бонитета	$\Sigma G \cdot A=29,4 A-607$	$\Sigma G \cdot A=11,0 A-92$

Закономерно изменяются по породам с возрастом и относительные полноты, постепенно увеличиваясь у сосны и уменьшаясь у березы (рис. 1).

Число деревьев на 1 га определено по формуле

$$N = \Sigma G : g,$$

где N — число деревьев;
 ΣG — сумма площадей сечений;
 g — площадь поперечного сечения среднего дерева.

Видовые числа для сосны найдены по формуле Шиффеля

$$f = 0,896q_2 + \frac{0,34}{q_2 \cdot H} - 0,160.$$

Второй коэффициент формы q_2 , входящий в эту формулу, вычисляли по выведенному нами, для сосны сосново-березовых древостоев, уравнению

$$q_2 = 0,662 + 0,879 : H.$$

Видовые числа для березы определены по формуле

$$f = 0,447 + \frac{0,47}{H}.$$

Запас стволовой древесины на 1 га установлен по формуле

$$M = \Sigma G \cdot fH.$$

Средний и периодический текущий приросты найдены расчетным путем по запасам в разных возрастах.

Для удобства пользования таблицами на практике в них приведены значения элементарного запаса *, как это рекомендует М. Л. Дворецкий [3]. По возрастной структуре сосново-березовые древостои разновозрастны, причем в исследуемых естественных рядах береза старше сосны в среднем на 2 года, что и отражено в табл. 3.

Проведя анализ полученных данных и сравнив их с таблицами хода роста чистых сосняков по В. И. Левину [6] и чистых березняков по А. В. Тюрину [16], приходим к следующим основным выводам.

1. До 45-летнего возраста береза превосходит по высоте сосну, к возрасту 50 лет сосна обгоняет в росте березу и в дальнейшем не уступает ей. К 100-летнему возрасту сосна выше березы на 2 м.

2. Сосна в сосново-березовых насаждениях растет в высоту лучше, чем в чистых, и уже к 60 годам разница составляет около 2 м. Береза растет хуже, имея к этому возрасту меньшие на 1—2 м высоты по сравнению с чистыми березняками.

3. Средний диаметр у сосны больше, чем у березы, причем разница с возрастом увеличивается, достигая к 100 годам 7—7,5 см.

4. Средние диаметры сосны в черничниках несколько выше по сравнению с чистыми сосняками; в кисличниках до 90 лет они практически одинаковы и уменьшаются за пределами этого возраста; береза во всех возрастах имеет более низкие диаметры, чем в чистых березняках.

5. Общие запасы сосново-березовых древостоев в сравнении с таблицами хода роста сосняков по классам бонитета [7] к 100-летнему возрасту ниже на 3—6%. Понижает запас березовая часть древостоя.

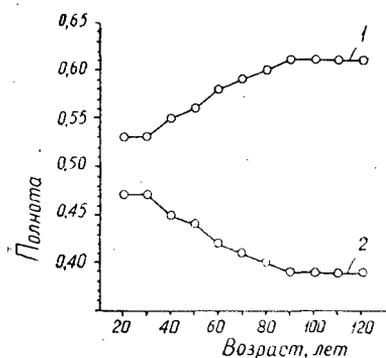


Рис. 1. Изменение относительных полнот с возрастом.
 1—сосна; 2—береза

* Запас, приходящийся на 1 м² площади поперечного сечения древостоя.

Таблица 3

Возраст (сосны) (березы) лет	Состав дре- востой по сумме площадей сечений по запасу	Порода	Средние		Число деревь- ев на 1 га	Сумма площа- дей сеч- ений на 1 га, м ²	Сред- ние видо- вые числа стволов	Запас стволо- вой древе- сины, м ³	Прирост на 1 га, м ³		Эле- ментар- ный запас, м ³
			высо- та, м	диа- метр, см					сред- ний	теку- щий	
Кисличник II класса бонитета											
20	59С41Б	С	6,7	5,0	5000	10,0	0,615	41	2,0	—	4,12
22	59С41Б	Б	8,4	4,8	3889	7,0	0,503	29	1,4	—	4,23
30	60С40Б	С	10,2	8,2	2415	12,8	0,555	72	2,4	3,1	5,66
32	61С39Б	Б	11,4	8,0	1680	8,4	0,488	46	1,5	1,7	5,56
40	63С37Б	С	13,6	11,4	1529	15,6	0,525	111	2,8	3,9	7,14
42	64С36Б	Б	13,9	10,5	1046	9,1	0,481	62	1,5	1,6	6,69
50	65С35Б	С	16,9	14,7	1082	18,4	0,508	158	3,2	4,7	8,59
52	67С33Б	Б	16,5	12,8	768	9,9	0,476	78	1,5	1,6	7,85
60	66С34Б	С	19,9	18,0	819	20,8	0,497	206	3,4	4,8	9,89
62	69С31Б	Б	18,9	14,8	612	10,5	0,472	93	1,5	1,5	8,92
70	68С32Б	С	22,2	20,7	672	22,6	0,491	246	3,5	4,0	10,90
72	70С30Б	Б	20,6	16,4	512	10,8	0,470	105	1,5	1,2	9,68
80	68С32Б	С	23,8	22,9	581	23,9	0,486	276	3,5	3,0	11,57
82	71С29Б	Б	22,0	17,5	461	11,1	0,468	114	1,4	0,9	10,30
90	69С31Б	С	25,0	24,6	528	25,1	0,485	302	3,4	2,6	12,13
92	71С29Б	Б	23,0	18,4	422	11,2	0,467	121	1,3	0,7	10,74
100	69С31Б	С	26,0	25,9	489	25,8	0,482	323	3,2	2,1	12,53
102	72С28Б	Б	23,9	19,1	397	11,4	0,467	127	1,3	0,6	11,16
110	70С30Б	С	26,8	27,0	462	26,5	0,480	341	3,1	1,8	12,86
112	72С28Б	Б	24,6	19,7	377	11,5	0,466	132	1,2	0,5	11,46
120	70С30Б	С	27,5	27,9	440	26,9	0,480	355	3,0	1,4	13,20
122	72С28Б	Б	25,2	20,2	363	11,6	0,466	136	1,1	0,4	11,74
Черничник III класса бонитета											
20	61С39Б	С	5,4	4,7	5429	9,5	0,655	34	1,7	—	3,54
22	63С37Б	Б	6,4	4,1	4444	6,0	0,520	20	0,9	—	3,33
30	61С39Б	С	9,0	7,9	2449	12,0	0,571	62	2,0	2,8	5,14
32	63С37Б	Б	9,7	6,9	2081	7,7	0,496	37	1,2	1,7	4,81
40	62С38Б	С	12,1	10,9	1538	14,3	0,536	93	2,3	3,1	6,49
42	63С37Б	Б	12,4	9,5	1251	8,7	0,485	53	1,3	1,6	6,01
50	64С36Б	С	15,0	13,6	1159	16,8	0,517	130	2,6	3,7	7,76
52	66С34Б	Б	14,9	11,7	870	9,4	0,479	67	1,3	1,3	7,14
60	67С33Б	С	17,6	16,3	918	19,2	0,505	168	2,8	3,8	8,89
62	69С31Б	Б	16,6	13,3	683	9,5	0,475	75	1,3	0,8	7,89
70	68С32Б	С	19,3	19,0	726	20,6	0,499	200	2,9	3,2	9,63
72	71С23Б	Б	17,9	14,4	595	9,7	0,473	82	1,2	0,7	8,47
80	69С31Б	С	20,7	21,0	642	22,2	0,494	225	2,8	2,5	10,23
82	72С28Б	Б	18,9	15,2	541	9,8	0,472	87	1,1	0,5	8,92
90	70С30Б	С	21,7	22,6	573	23,0	0,491	243	2,7	1,8	10,65
92	73С27Б	Б	19,7	15,9	497	9,9	0,471	92	1,0	0,5	9,28
100	70С30Б	С	22,5	23,9	522	23,4	0,489	258	2,6	1,5	11,00
102	73С27Б	Б	20,3	16,4	474	10,1	0,470	96	0,9	0,4	9,54
110	70С30Б	С	23,2	24,9	489	23,8	0,488	270	2,4	1,2	11,32
112	73С27Б	Б	20,8	16,8	460	10,2	0,470	100	0,9	0,4	9,78
120	70С30Б	С	23,8	25,8	461	24,1	0,486	278	2,3	0,8	11,57
122	73С27Б	Б	21,2	17,1	448	10,3	0,469	102	0,8	0,2	9,94

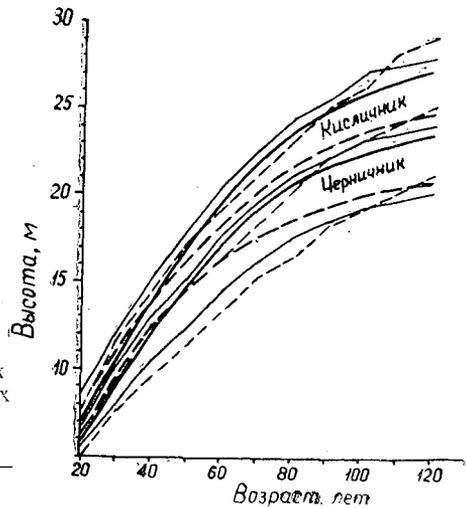


Рис. 2. Средние высоты сосново-березовых древостоев по типам леса в бонитировочных шкалах М. М. Орлова и В. И. Левина.

Тонкие пунктирные линии — границы классов бонитета по М. М. Орлову; тонкие сплошные — по В. И. Левину. Жирные сплошные линии — изменение средних высот сосны; жирные пунктирные — березы.

6. Запас сосновой части (при одинаковой относительной полноте) в сосново-березовых древостоях выше на 12—19% по сравнению с чистыми сосняками.

7. Лучший рост сосны и накопление большего элементарного запаса в сосново-березовых древостоях обусловлены благоприятным воздействием березы как почвоулучшающей породы и, очевидно, тем, что «...смешанные насаждения обычно приурочены к другим почвам, чем те, на которых растут чистые насаждения» [14].

8. Ход роста сосны и березы по высоте хорошо укладывается в местную бонитировочную шкалу В. И. Левина (рис. 2). При этом сосна занимает верхние грани классов бонитета, береза нижнюю половину их.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. П. Аяучин. Лесная таксация. Гослесбуиздат, М.—Л., 1960. [2]. Вопросы лесной таксации. Сборник трудов ЦНИИЛХ, 1937. [3]. М. Л. Дворецкий, Элементарный запас древостоя, ИВУЗ, «Лесной журнал» № 6, 1964. [4]. В. К. Захаров. Лесная таксация. Изд-во «Высшая школа», М., 1961. [5]. А. И. Котов. Исследование роста сосново-березовых насаждений высшей производительности. Автореферат кандидатской диссертации, Воронеж, 1949. [6]. В. И. Левин, В. И. Калинин, И. И. Гусев. Таблицы по учету таежных лесов. Архангельск, 1960. [7]. В. И. Левин. Ход роста полных и одновозрастных сосновых древостоев Архангельской области по классам бонитета. Труды АЛТИ, XIV, Архангельск, 1954. [8]. И. С. Мелехов. Проблемы таежного лесоводства. Журн. «Лесное хозяйство» № 10, 1957. [9]. В. С. Мирошников. Сосново-березовые насаждения БССР, их строение, лесоводственное и хозяйственное значение. Автореферат кандидатской диссертации, Минск, 1955. [10]. Н. С. Нестеров. Лесная опытная дача в Петровском-Разумовском. Сельхозгиз, М.—Л., 1935. [11]. М. М. Орлов. Лесная таксация. Л., 1925. [12]. Г. П. Тимофеев. К вопросу о возрастных изменениях и особенностях выращивания сосны и березы при совместном произрастании. Труды ЛТА, секция лесохозяйственная, вып. 82, ч. 1, 1957. [13]. В. П. Тимофеев, И. Г. Кротова, В. Г. Большевцев, А. А. Моравов. Итоги экспериментальных работ в лесной опытной даче ТСХА за 1862—1962 гг. М., 1964. [14]. М. Е. Ткаченко. Леса Севера, СПб., 1911. [15]. А. В. Тюрин. Лесная таксация. Гослестехиздат, М., 1945. [16]. А. В. Тюрин, И. М. Науменко, П. В. Воропачов. Лесная вспомогательная книжка. Гослесбуиздат, М.—Л., 1956.

УДК 634.0.165.6

НЕКОТОРЫЕ ПРИДЕРЖКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМОЛОПРОДУКТИВНЫХ СОСЕН ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ

Е. Е. ШКАПО

Аспирант

(Брянский технологический институт)

Селекция сосны обыкновенной на высокую смолопродуктивность является важной проблемой для практики лесного хозяйства. Е. П. Проказину [3] удалось получить некоторые перспективные для лесного хозяйства результаты по отбору высокосмолопродуктивных сосен.

Наши исследования показали определенную корреляционную связь смолопродуктивности сосны обыкновенной Брянского лесного массива с некоторыми морфологическими признаками ствола и кроны, с классами роста и развития.

Наблюдения проводили на пробных площадях в приспевающих и спелых (IV—V классы возраста) подсоченных насаждениях Журиничского леспромхоза, Брянской области. Пробные площади были заложены в различных типах леса, которые позволили учесть влияние условий местопроизрастания на выход живицы.

На всех пробных площадях производили сплошной пересчет подсоченных деревьев, мерной вилкой измеряли диаметры стволов на высоте 1,3 м по односантиметровым ступеням, высотомером определяли высоту каждого дерева. При замере высот учитывали высоту поднятия трещиноватой коры (до $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ высоты дерева) по стволу. Измеряли проекции кроны. Подробно описывали все морфологические признаки деревьев. Для учета выхода живицы с каждого дерева все подсоченные деревья были занумерованы. Сбор и взвешивание живицы производили в течение трех сезонов подсочки с точностью до 1 г, после трех-четырех подновок.

Результаты наших наблюдений [4] показывают, что в разновозрастных насаждениях деревья резко различаются по выходам живицы. На всех пробных площадях мы наблюдали деревья одинакового диаметра, но с разной смолопродуктивностью. Например, в квартале 50, на пробной площади 1, дерево № 96 имело смолопродуктивность 20,8 г с карроподновки, а дерево № 10, равное ему по толщине (28,0 см), только 2,6 г. На пробе 2, в квартале 59, дерево № 80 дало живицы 23,3 г, а одинаковое с ним по диаметру (36,0 см) дерево № 29 — только 3,5 г. В квартале 52, проба 4, высокой смолопродуктивностью отличалось дерево № 50 — 56,6 г, диаметр которого равен 40,0 см, в то время как дерево № 21 такого же диаметра дало 7,7 г живицы. Подобная картина наблюдалась на всех пробных площадях.

Итоги наших наблюдений и результаты статистической обработки показывают слабую связь смолопродуктивности с диаметром ствола. Для характеристики связи между толщиной дерева (диаметром на высоте 1,3 м) и выходом живицы нами вычислены коэффициенты корреляции, которые оказались равными: на пробе № 1 $r = 0,37$; на пробе № 2 $r = 0,42$; на пробе № 3 $r = 0,29$. Однако анализируя связь смолопродуктивности с диаметром ствола и кроны, мы установили, что деревья с полндревесным стволом и широкой кроной выделяют живицы в 1,5—2 раза больше, чем сосны такого же размера, но с узкой кроной. Например, в квартале 59 деревья с $d = 39$ см, у которых площадь проекции кроны равна 32,9 м², имели выход живицы $23,1 \pm 1,09$ г, а сосны той же толщины, но с меньшей кроной (14,72 м²) — только $11,4 \pm 0,77$ г.

Таксационная характеристика и описание морфологических признаков деревьев позволили установить, насколько велика связь смолопродуктивности с высотой дерева, высотой поднятия трещиноватой коры и классами по Крафту.

Данные трехлетних наблюдений показывают, что зависимость между высотой дерева и выходом живицы на пробе № 4 выражается коэффициентом, равным 0,215, а на остальных пробных площадях наблюдается обратная зависимость (проба № 1 $r = -0,198$). Приведенные коэффициенты и результаты рекогносцировочного обследования дают основание сказать, что на всех пробных площадях встречается высокие деревья с низким выходом живицы и малорослые с большим.

Анализируя замеры и статистические данные, мы установили, что высокий выход живицы имеют сосны, у которых трещиноватая кора поднимается до половины ствола и выше. Связь смолопродуктивности и трещиноватости коры выражается высоким коэффициентом корреляции $r = 0,89$. На пробных площадях был определен процент участия деревьев с разной высотой поднятия трещиноватой коры по категориям смолопродуктивности. Данные распределения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Смолопродуктивность	Выход живицы с карроподновки, г	Распределение деревьев (%) по высоте поднятия трещиноватости			
		1/3	1/2	2/3	3/4
Очень низкая	0—8	0	2,6	12,0	69,2
		0	18,7	12,3	24,4
Низкая	9—17	7,4	64,9	64,1	26,9
		5,5	45,9	25,0	75,6
Средняя	18—26	59,2	32,5	23,9	3,9
		30,6	31,2	37,7	0
Высокая	27—35	18,5	0	0	0
		19,4	4,2	25,0	0
Рекордная	Более 36	14,9	0	0	0
		44,5	0	0	0

Примечание. В числителе — данные для пробной площади № 1; в знаменателе — для пробной площади № 4.

Из таблицы видно, что среди деревьев с высоко поднятой трещиноватостью коры не оказалось ни одной сосны с очень низким выходом живицы, в то время как большинство сосен с низко опущенной трещиноватостью имеют низкую смолопродуктивность.

Изучению связи смолопродуктивности с мощностью кроны посвящен ряд работ, в результате которых получены выводы, иногда противоречивые. Например, Е. П. Проказин [3] утверждает, что выход живицы не находится в зависимости от густоты охвоения и размеров кроны. Л. С. Василевская [1] указывает, что у ширококронных сосен с притупленной вершиной смолопродуктивность была выше в том случае, когда у деревьев грубая темная корка покрывала большую часть ствола. Сходные выводы делает и В. П. Гавришь [2].

Нашими наблюдениями выявлена положительная связь смолопродуктивности с размерами кроны. Установлено, что ширококронные деревья отличаются высокими выходами живицы. Теснота связи выражается коэффициентом 0,613.

В целях выявления связи смолопродуктивности отдельных деревьев с классами Крафта на пяти пробных площадях в различных типах леса подсоченные сосны были охарактеризованы по отмеченной выше классификации, учтены их смолопродуктивность и процент участия в насаждении (табл. 2).

Таблица 2

Пробные площади	Смолопродуктивность, г (числитель) и число деревьев, % (знаменатель) разных классов по Крафту				
	I	II	III	IV	V
1	$26,2 \pm 1,42$	$16,8 \pm 1,23$	$13,0 \pm 0,82$	$11,5 \pm 1,14$	—
	12,6	32,3	36,1	19,0	—
2	$24,8 \pm 0,97$	$14,1 \pm 1,12$	$13,5 \pm 0,74$	$12,0 \pm 0,86$	$9,1 \pm 1,01$
	11,5	31,1	34,2	19,6	3,6
3	$20,3 \pm 0,81$	$14,7 \pm 0,75$	$13,2 \pm 1,03$	$13,4 \pm 1,10$	$11,0 \pm 0,97$
	10,2	49,1	23,2	13,3	4,2
4	$29,6 \pm 1,52$	$19,2 \pm 1,14$	$14,7 \pm 1,13$	—	—
	25,6	46,1	28,3	—	—
5	$27,6 \pm 1,29$	$18,1 \pm 1,02$	$12,1 \pm 1,01$	—	—
	35,3	44,2	20,5	—	—

В результате обработки полученных данных было установлено, что смолопродуктивность наиболее тесно связана с состоянием дерева. В наших условиях высокие выходы живицы имеют деревья первого класса Крафта. Вместе с тем выход живицы у отдельных деревьев первого класса равен выходу у деревьев второго, а иногда и третьего классов. Это говорит об отсутствии высокой связи смолопродуктивности с классами Крафта. Наши данные в этом случае подтверждают выводы Е. П. Проказина [3].

ЛИТЕРАТУРА

[1] Л. С. Василевская. Смолопродуктивность деревьев сосны, различающихся по морфологическим признакам. Сборник научных работ Института лесного хозяйства, вып. 13, Минск, 1960. [2] В. П. Гавришь. Многоформенность хвойных пород и практическое использование ценных форм сосны и ели. Журн. «Лесное хозяйство» № 1, 1938. [3] Е. П. Проказин. Селекция смолопродуктивных форм сосны обыкновенной. Сб. «Опыт и достижения по селекции древесных пород», вып. 38, М., 1959. [4] Е. Е. Шкапо. Улучшение использования сосняков при подсочке. Журн. «Гидролизная и лесохимическая промышленность» № 8, 1964.

Поступила в редакцию
4 июня 1965 г.

УДК 634.0.252.322

РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ДАВНОСТИ РУБКИ НА ПРОЧНОСТЬ ПНЕЙ И ОБРАБОТКУ ПОЧВЫ

Д. А. МАШКОВ

Доцент, кандидат технических наук

(Уральский лесотехнический институт)

Основная цель нашего исследования заключается в том, чтобы конкретизировать учет уменьшения прочности пней с давностью рубки, что должно облегчить составление пахотного и корчевального агрегатов, назначение способов обработки почвы и нормы выработки.

Прочность пней, являющихся препятствием для почвообрабатывающих орудий, с течением времени уменьшается в зависимости от породы и смолистости в начальный период. Существенное влияние на разрушение пней оказывают почвенно-климатические условия — условия жизни грибов и бактерий.

По степени стойкости против гниения пни всех древесных пород достаточно резко разделяются на три группы.

Пни первой группы пород (сосна, кедр, лиственница, дуб) имеют более темную, сухую и плотную центральную часть (ядро) и рыхлую, светлую и влажную периферийную (заболонь). Заболонная часть подвержена более сильному заражению грибами и бактериями, поэтому со второго года после рубки она начинает постепенно отгнивать. По данным Л. В. Гордона, В. В. Фефилова, С. О. Скворцова, Г. Д. Атаманчукова, гниение заболони продолжается 10—15 лет, одновременно отгнивает большая часть боковых корней. Таким образом, за этот период сгнивают все пни диаметром до 18—20 см, не успевшие сформировать ядровую часть. Ядровая часть этой группы пород сильно пропитана смолами, предохраняющими ее от гниения. Начальная смолистость ядра составляет около 15%, в отличие от заболонной, смолистость которой равна 2%. Продолжительность сохранения ядровой части у более смолистых пней может достигать 30—40 лет.

Пни третьей группы заболонных пород (береза, осина, ольха, тополь) между заболонной и ядровой частями. Внешне его можно не обнаружить, однако ядровая часть содержит значительно меньше влаги, что несколько сохраняет ее от гниения. Средний срок сохранности пней второй группы пород составляет 15—18 лет.

Пни третьей группы заболонных пород (береза, осина, ольха, тополь) не имеют никаких различий между центральной и периферийной частями, поэтому разрушение идет равномерно по всей массе пня. В отдельных случаях центральная часть перегнивает более быстро в отличие от периферийной, которая легче выветривается воздушными потоками. Пни сгнивают полностью за 8—10 лет, независимо от их диаметра.

Большое разнообразие других факторов, влияющих на сохранность пней, вызывает ощутимые колебания в сроках гниения, поэтому приведенные сроки являются средними.

Исследования, проведенные при обработке почвы на нераскорчеванных вырубках Среднего Урала, показывают, что через 20 лет после рубки лесные почвообрабатывающие орудия легко разрушают основную массу пней пород первой группы. Из общего числа сохранившихся за 20 лет пней опасными для плугов были только 13%. Они имели начальный диаметр 40—50 см и сохранившийся центральный стержень диаметром до 20—30 см.

Пни второй группы пород не являются препятствиями для лесных орудий через 12 лет после рубки, хотя небольшой процент из них в благоприятных условиях может сохранить прочность и после указанного срока.

Пни третьей группы пород, наиболее быстро перегнивающие, теряют прочность и могут быть разрушены лесными почвообрабатывающими орудиями в среднем через 8 лет.

Процесс разрушения пня идет неравномерно. В первые годы после рубки он протекает медленно, затем нарастает, а в конце периода идет значительно быстрее. Поэтому целесообразно первый год после рубки во всех случаях не учитывать, так как биологическое разрушение пня практически начинается со второго года.

С достаточной точностью степень прочности пня определенной давности рубки, относительно прочности свежего пня, можно выразить с помощью коэффициента

$$K = \frac{T-t}{T},$$

где T — срок, в течение которого пни ослабевают настолько, что могут быть свободно разрушены почвообрабатывающими орудиями, лет;

t — давность рубки без учета первого года после рубки, лет.

Для более упрощенного определения коэффициента прочности пней можно пользоваться простейшей номограммой, приведенной на рис. 1. Номограмма имеет четыре шкалы. Первая разделена на 20 частей, соответственно времени, в течение которого пни первой группы пород являются препятствиями для почвообрабатывающих орудий; вторая на 12 и третья на 8 частей, соответственно второй и третьей группам пород; четвертая шкала коэффициента прочности пней — на сто частей (от 1 до 0).

Для того чтобы определить коэффициент прочности пня, необходимо точку, найденную на одной из шкал, соответствующих породе пня и давности рубки, отнести вправо на шкалу коэффициентов прочности пней. Промежуточные точки, не отмеченные на шкалах, определяют путем интерполяции.

Во всех типах леса, особенно в естественных разновозрастных насаждениях, наблюдается значительная разница между диаметрами стволов. Благодаря этому с давностью рубки в первую очередь будут отпадать пни малых диаметров, а затем более крупных. К концу периода 20, 12 или 8 лет, в зависимости от породы пней, основная масса их не будет препятствовать обработке почвы, так как они будут сильно ослаблены гнилью. С некоторой точностью можно считать, что имеется прямая зависимость между давностью рубки и отпадом пней в разновозрастных насаждениях. Эту зависимость легко выразить коэффициентом уменьшения количества пней, который представляет собой отношение времени в годах, оставшихся до полного отпада пней, к общему времени, необхо-

димому для полного разрушения пней (20, 12 или 8 лет). Этот коэффициент имеет одинаковую структуру и выражает зависимость, аналогичную коэффициенту прочности пня.

Учитывая это, можно рассматривать коэффициент прочности пня в разновозрастных насаждениях как коэффициент уменьшения количества пней с давностью рубки. Общее количество сохранившихся пней, препятствующих обработке почвы, определяют путем умножения количества свежих пней на коэффициент их уменьшения.

При наличии на вырубке пней нескольких древесных пород, относящихся к различным группам по степени стойкости против гниения, параметры получают по каждой породе отдельно.

Количество сохранившихся ко времени обработки почвы пней определяет степень минерализации почвы и среднее расстояние между центрами борозд или полос*, проведенных агрегатом на нераскорчеванной вырубке.

Таким образом, с помощью приведенной номограммы зависимости прочности пня от давности рубки можно получить коэффициент уменьшения сопротивления пня любой породы или коэффициент уменьшения количества пней в зависимости от давности рубки для разновозрастных насаждений. Это позволяет определить сопротивление пня, а также количество пней, препятствующих обработке почвы на вырубках различной давности. Полученные параметры облегчают подбор пахотного и корчевального агрегатов, позволяют определить минимальное среднее расстояние между бороздами или полосами при подготовке почвы и степень ее минерализации.

* Д. А. М а ш к о в. Определение проходимости почвообрабатывающих агрегатов на чераскорчеванных вырубках Урала. Сб. «Лесоэксплуатация и лесное хозяйство» ЦНИИТЭИ по лесбумдревпрому и лесному хозяйству, № 15, 1963.

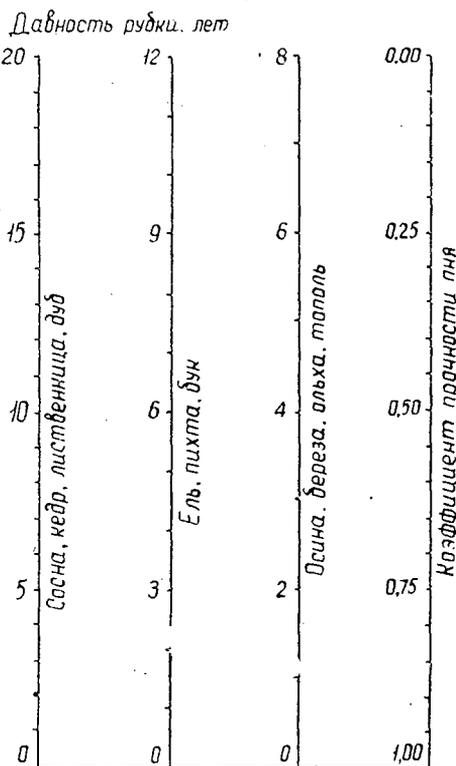


Рис. 1.

УДК 634.0.23

О ВОЗОБНОВЛЕНИИ ОЛЬХИ ЧЕРНОЙ В БРЯНСКОМ ЛЕСНОМ МАССИВЕ*

В. И. РУБЦОВ

Аспирант

(Брянский технологический институт)

Многие авторы отмечали неудовлетворительное семенное естественное возобновление ольхи черной в различных районах страны. По Брянскому лесному массиву таких исследований не проводили, хотя черноольховые насаждения занимают здесь около 35 тыс. га. Осмотр некоторых участков в натуре показал, что большинство насаждений имеет смешанное происхождение: в одних преобладают порослевые, в других — семенные экземпляры.

Семенное возобновление ольхи мы изучали в Бежицком, Карачевском и Брянском учебно-опытном лесхозах на 18 участках: под пологом 8, на вырубках 9, на пустыре 1. В древостоях хозяйственных мероприятий не проводили. Материнские насаждения до рубки имели в составе от 40 до 60% деревьев семенного происхождения. Эти насаждения использовали под пастьбу скота. Древесину заготавливали в зимний период, сучья равномерно разбрасывали по площади. На пустыре вдоль стены леса почва была вспахана. Самосев ольхи 1—2 лет учитывали на площади 2 × 1 и 1 × 1 м. Порослевое и семенное (старше двух лет) возобновление исследовали на пробах 0,02—0,05 га. На всех участках проводили учет только нормально развитых и жизнеспособных растений. Период возобновления рубок определяли по возрастному строению молодняков, для чего срубали по 100 растений ольхи на каждой лесосеке. На нулевом срезе подсчитывали годовичные слои. Наблюдения показали, что подрост под пологом почти отсутствует, так как опадающие в сентябре — апреле плоды попадают в подстилку и не дают всходов.

После рубки древостоев создаются благоприятные условия для появления самосева, особенно на тех участках, которые в год рубки использовали под пастбища. Скот, поедая и вытаптывая травяной покров, способствует минерализации почвы. Так, на вырубках 1962—1963 гг. численность самосева составила на 1 га: в ольшанике таволговом 24,7 (рис. 1), а в ольшанике снытьевом 22,3 тыс. шт. Там же, где пастьбы не было, насчитано 10,8 тыс. семенных растений ольхи на 1 га (ольшаник таволговый). На лесосеках в ольшанике осоковом семенное возобновление ольхи протекает неудовлетворительно. Поросль в этих типах леса не учитывали.

* Работа выполнена под руководством проф.

Б. В. Гроздова. 1



Рис. 1. Естественное семенное возобновление ольхи черной на вырубке.
Возраст 2 года. Желтоводское лесничество, Карачевского лесхоза.

В ольшанике крапивном, помимо возобновления, изучали рост семенной и порослевой ольхи в высоту и по диаметру в возрасте до 10 лет. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Возраст молодняка, лет	Самосев			Поросль		
	количе- ство, тыс. шт. на 1 га	высота, м	диаметр, см	количе- ство гнезд на 1 га	высота, м	диаметр, см
		$M \pm m$	$M \pm m$		$M \pm m$	$M \pm m$
1	15,4	$0,1 \pm 0,00$	—	370	$1,1 \pm 0,03$	—
2	13,1	$0,6 \pm 0,02$	—	357	$2,3 \pm 0,04$	$0,9 \pm 0,04$
5	5,0	$3,4 \pm 0,12$	$1,9 \pm 0,12$	348	$5,0 \pm 0,14$	$2,8 \pm 0,12$
7	3,0	$6,1 \pm 0,10$	$3,6 \pm 0,11$	348	$7,5 \pm 0,13$	$4,2 \pm 0,13$
10	1,7	$7,0 \pm 0,15$	$4,6 \pm 0,15$	348	$9,5 \pm 0,19$	$6,2 \pm 0,20$

Как видно, семенное возобновление в 1—2-летнем возрасте хорошее, в 5—7-летнем удовлетворительное, а в 10-летнем слабое; порослевое же оказалось слабым для всех возрастов (по шкале В. Г. Нестерова). Сильное самоизреживание к десяти годам объясняется, возможно, быстрым смыканием семенных экземпляров и затенением их разросшимися порослевыми гнездами.

К примеру, средняя проекция порослевого гнезда в 2 года — 3 м^2 , в 5 лет — 9 м^2 , в 10 лет — 15 м^2 . Условия роста семенной ольхи можно улучшить рубками ухода.

Самосев в первый год растет медленно, но не заглушается травяной растительностью, так как в условиях вырубок покров в это время развивается очень слабо.

В последующие годы рост семенной ольхи ускоряется, но она отстает от порослевой. Разница в росте по высоте и диаметру до 10 лет существенна.



Рис. 2. Корнеотпрысковое возобновление ольхи черной на вырубке.
Возраст 7 лет. Фокинское лесничество, Бежицкого лесхоза.

Но вырубки возобновляются не только семенным и порослевым путем. На одной из них (Фокинское лесничество, Бежицкого лесхоза) обнаружены корневые отпрыски (рис. 2). Они вырастают на поверхностно расположенных корнях на расстоянии 0,3—1,5 м от пня в количестве 1—14 шт.

Поросль на этих пнях отсутствует. В семилетнем возрасте отпрыски имеют средний диаметр 4,2 см, среднюю высоту — 7,5 м. Такие же размеры в этом возрасте у порослевой ольхи.

Возобновление на пустыре исследовали с учетом расстояния до стены леса и действия преобладающих ветров. Высота стены — 25 м (табл. 2).

Таблица 2

Расстояние до стены леса, м	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Количество рас- тений на 1 м ² , шт.	1,0	9,0	10,0	9,0	5,5	4,5	2,5	1,5	1,5	0,5
Средняя высота однолеток, см	13,0	13,5	14,0	14,0	12,7	11,1	12,1	11,9	10,6	10,1

Стена леса обеспечивает обсеменение по подготовленной почве на расстоянии до 45 м.

Наибольшее количество самосева оказалось на 25-метровой полосе, прилегающей к ней.

Средняя высота здесь больше, чем на остальной площади. Видимо, на таком расстоянии опадают лучшие по качеству плоды.

В результате проведенных наблюдений и исследований можно сделать следующие выводы.

1. Вырубки в основном возобновляются в первый год самосевом, порослью и реже корневыми отпрысками. Возобновление на большинстве из них хорошее и удовлетворительное. Рубками ухода можно улучшить условия роста семенных экземпляров.

2. Пастьба скота в насаждениях в год рубки благоприятно сказывается на семенном возобновлении, на вырубках она не приносит вреда поросли, но отрицательно действует на рост самосева до пятилетнего возраста.

3. Рубку древостоев ольхи следует приурочивать к семенным годам и проводить в осенне-зимний период после созревания плодов и их частичного опадения. Чтобы семенное возобновление было более успешным и равномерным, сучья с плодовыми сережками нужно разбрасывать по всей площади.

Поступила в редакцию
3 июня 1965 г.

УДК 634.0.232.1

К ВОПРОСУ ПОДБОРА ПОРОД ПРИ СОЗДАНИИ ЗАЩИТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ КРУПНОМЕРНЫМ ПОСАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ

Н. Г. ПЕТРОВ

Аспирант

(Научно-исследовательский институт сельского хозяйства ЦЧП
им. В. В. Докучаева)

В целях установления целесообразности посадок тех или других пород крупномерным посадочным материалом мы выполнили специальные исследования в опытных посадках института, заложенных автором в разные годы, начиная с осени 1961 г., а также в ранее созданных насаждениях (1958—1959 гг.) и обобщили четырехлетний опыт создания таких насаждений в Воронежской и других областях центрально-черноземной полосы.

Более подробные наблюдения за состоянием насаждений, созданных крупномерным посадочным материалом, мы вели с 1962 г. в опытных полосах института на площади 7 га. Для этого их сравнивали с насаждениями, созданными посадкой сеянцев при одинаковых сроках посадки.

Средний возраст всех саженцев в культурах 1962 г. составил 4—6 лет. Тополя высаживали 4—5- и 2-летними саженцами, а также однолетними укорененными черенками.

Приживаемость пород, участвующих в посадках во все годы проведения опыта (исключая сухой 1963 г.), была достаточно высокой и частично даже выше, чем у сеянцев тех же пород, высаженных без полива в идентичных условиях (табл. 1).

Таблица 1

Порода	Приживаемость, %			
	саженцев (среднее для посадок 1962 и 1964 гг.)	сеянцев (среднее для посадок 1962 и 1964 гг.)	саженцев (среднее для сухого года)	сеянцев (в сухие годы)
Ясень обыкновенный	94,6	88,3	—	85,4
Дуб черешчатый	73,3	89,9	—	80,7
Клен остролистный	95,4	86,4	81,0	80,3
Липа	91,5	79,0	76,0	—
Рябина	96,5	84,6	—	—
Тополь				
укорененные черенки и двухлетние саженцы	80,5	83,8	—	82,7
саженцы 4—5 лет	98,2	Черенки	65,0	Черенки
Береза	94,0	93,1	25,0	76,7

Среди быстрорастущих пород (кроме тополя) в наших посадках 1958—1959 гг. и посадках последних лет, проведенных лесхозами Воронежской области, лучшую приживаемость имели вяз мелколистный и акация белая. Через 5 лет после пересадки вяз мелколистный имел среднюю высоту 5,8 м, диаметр на высоте груди 9,3 см, последний годичный прирост 20 см. Высота акации белой через столько же лет была 3,6 м, диаметр 6,6 см, прирост последнего года 35 см.

При посадках сеянцами эти породы могут иметь такую высоту на седьмом — десятом году после введения их в культуру.

В первый год после пересадки у некоторых видов древесных пород обнаруживается снижение средней высоты, происходящее за счет того, что усыхание вершин одних экземпляров не может компенсироваться очень малым приростом других. Однако на втором году этого явления не наблюдается (табл. 2).

Таблица 2

Порода	Высота при посадке, см	Средний прирост на втором году роста, см	Средняя высота, см		Сохранность после трех лет роста, % от числа высаженных
			после двух лет роста	после трех лет роста	
	270,0	25,7	275,7	331,5	93,4
Ясень обыкновенный	30,0	31,0	71,5	193,4	86,8
	120,0	9,1	102,6	197,5	58,7
Дуб черешчатый	9,5	5,8	25,0	79,2	83,3
	278,0	19,8	305,2	345,5	95,4
Клен остролистный	28,0	57,0	112,0	230,3	86,1
	138,0	25,5	163,7	212,0	81,0
Липа мелколистная	18,0	33,7	64,8	119,2	71,0
	239,0	27,2	264,0	293,0	91,5
Рябина обыкновенная	45,0	11,0	80,0	121,0	84,6
	132,0	53,0	187,3	268,7	71,2
Береза	25,0	91,0	162,2	282,0	91,1
Тополь					
укорененные черенки и двухлетние саженцы . . .	150,0	72,7	232,5	393,3	97,7
саженцы	340,0	42,2	351,4	506,5	90,5
черенки	0	109,3	183,4	338,0	79,7

Примечание. В числителе — данные для саженцев; в знаменателе — для сеянцев.

Из табл. 2 видно, что на второй год прирост саженцев березы больше, чем сеянцев, а на третий год сеянцы становятся выше. Почти то же самое выявлено и для тополя; высаженного укорененными черенками и двухлетними саженцами. Несмотря на несколько больший прирост сеянцев других пород, разница между их средними высотами и на третьем году остается достаточно большой, а у дуба она даже увеличивается. Это говорит о том, что пересаженные деревца хорошо укоренились и теперь по интенсивности роста не уступают нормально растущим дубкам той же возрастной группы. Средний прирост дуба на третьем году роста составил 70 см, кроны деревцев нормально развиты.

В условиях Каменной степи дуб при обычных посадках сеянцами достигает высоты 1,9—2 м на шестом — седьмом году, при посадках же крупными деревцами, как видно из наших данных (табл. 2), дуб имеет такую высоту уже на третьем году после посадки.

Одно это уже указывает на несомненную выгодность применения крупномерных посадок дуба. Однако низкая приживаемость и высокая стоимость такого посадочного материала уменьшает его достоинства.

В качестве главной породы в посадках крупными саженцами его может заменить ясень обыкновенный, который и в естественных лесах юго-востока ЦЧП является также спутником и заменителем дуба. Снижение высоты саженцев ясеня было гораздо меньшим, чем у дуба. Из 94% прижившихся 8% в первый год не дали прироста, а снизили высоту (примерно на половину первоначальной) только 3%. Лишь на третий год роста саженцы ясеня значительно увеличили свою высоту. Несмотря на некоторое замедление в росте, высота саженцев пока еще на много превышает высоту сеянцев, и уравнивание их высот, если и наступит, то очень не скоро. Снижение средних высот других пород в первый год было еще меньшим и, как видно из табл. 2, полностью покрывалось за счет приростов. Хотя величина приростов у саженцев клена меньше, чем у сеянцев, разрыв между их средними высотами еще велик, и пока нет оснований предполагать, что высоты скоро сравняются, поскольку прирост саженцев клена с каждым годом возрастает. Саженцы тополя (старшего возраста) по интенсивности роста не уступают тополям, растущим из черенков. Данные табл. 1 и 2 говорят о том, что сохранность саженцев большинства исследуемых пород по истечении трех лет почти не отличается от показателя приживаемости. Значительное снижение сохранности отмечается у дуба (14,6%), березы (22,8%) и липы (10,5%). Отпад сеянцев за этот же период роста был меньше.

Из сказанного можно сделать некоторые практические выводы.

1. По экономической целесообразности обследуемые нами породы деревьев можно расположить в такой последовательности: ясень обыкновенный, клен остролистный, акация белая, тополь (саженцы 4—5 лет), липа, вяз мелколистный, ясень американский, береза, тополь (саженцы 1—2 лет и укорененные черенки), каштан конский, дуб. Плодовые в данном ряду не указаны, поскольку необходимость и целесообразность введения их в такие посадки не вызывает сомнения. Отнесение на одно из последних мест каштана конского в данном ряду продиктовано тем, что из-за медленного роста эта порода не получила распространения в защитном лесоразведении. Пересадку он переносит успешно, но после этого долго «сидит» и не образует кроны. Его больше всего применяют при озеленительных посадках, где, кстати, могут найти место и другие перечисленные породы (с высотой саженцев не менее 2—4 м).

2. Наиболее целесообразно вводить в культуры крупномерные саженцы теневых и вообще медленно растущих пород (в первое десятилетие), считая лучшими при этом методе посадок на черноземных суглинках: ясень обыкновенный, клен остролистный с примесью плодовых, липы и быстрорастущих пород, высаженных в особо сухих условиях сеянцами; на влажных местоположениях: березу, липу, тополь (с высотой саженцев 3—3,5 м) с примесью рябины и клена остролистного.

3. Посадку березы в обычных условиях при создании защитных насаждений выгодней производить сеянцами. Там, где есть необходимость посадки именно крупными саженцами (опасность погубы скотом и т. п.), в качестве посадочного материала следует брать молодые деревца из ранее созданных культур в порядке изреживания последних. Приживаемость их не ниже, чем школьных саженцев, и выше, чем переросших сеянцев и дичков. Посадочный же материал дешевле.

УДК 634.0.232

**ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА СЕЯНЦЕВ СОСНЫ
НА ПРИЖИВАЕМОСТЬ И РОСТ КУЛЬТУР
ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОСАДКЕ**

В. Г. КАРТЕЛЕВ

Аспирант

(Белорусский НИИ лесного хозяйства)

Качество посадочного материала изучали многие исследователи [1], [2], [3], [5], [6], [8]. Однако выводы по этому вопросу весьма противоречивы, что вызвано разным методическим подходом к его изучению и, главным образом, недостаточным учетом роли и особенностей развития корневой системы сеянцев, условий окружающей среды и причин дифференциации сеянцев в питомнике. Поэтому задачей наших исследований было более детально изучить влияние качества посадочного материала на приживаемость и рост культур, а также степень его пригодности для механизированной посадки.

С этой целью в 1962—1963 гг. на Ленинской экспериментальной базе БелНИИЛХ были заложены опытные культуры общей площадью 8,3 га. В опытах использовали однолетние сеянцы, выращенные из семян местного сбора в питомнике базы на супесчаной почве. Средняя густота стояния их — 220 шт. на 1 пог. м посевной строки шириной 4—5 см.

Перед посадкой сеянцы сортировали при помощи шаблонов на 12 классов по качеству. Из каждого класса было взято по 100 растений

Таблица 1

Классы сеянцев по размеру			Средние значения размеров сеянцев			Общий абсолютно сухой вес 100 сеянцев, г	Отношение веса		
диаметр, мм	высота, см	длина орня, см	диаметр, мм	высота, см	длина корня, см		подземной части к надземной	активных корней к хвое	активных корней к весу всех корней
0,9—1,5	4—6	13—17	1,37	5,1	15,2	24,4	0,37	0,29	0,59
		>17	1,35	5,2	19,8	25,3	0,44	0,36	0,62
	>6	13—17	1,41	7,6	15,8	25,0	0,29	0,22	0,52
		>17	1,41	7,7	18,2	25,3	0,31	0,26	0,57
1,51—2,0	4—7	13—17	1,80	6,7	16,2	41,1	0,32	0,25	0,55
		>17	1,77	6,6	21,8	39,9	0,39	0,29	0,58
	>7	13—17	1,90	10,4	16,9	50,8	0,24	0,16	0,44
		>17	1,88	9,9	21,0	50,9	0,29	0,22	0,52
2,01—3,0	4—9	13—17	2,57	8,6	16,9	70,2	0,30	0,19	0,43
		>17	2,33	8,9	21,8	70,5	0,33	0,22	0,45
	>9	13—17	2,46	11,3	17,0	70,1	0,22	0,20	0,44
		>17	2,61	12,0	21,7	77,2	0,23	0,22	0,46

для обмера и взвешивания. В табл. 1 приведены средние показатели качества сеянцев, использованных для посадки в 1962 г. Средние элементы качества сеянцев, использованных в следующем году, были близки. Сравнение одинаковых классов методом ординации [7] показало их близкое сходство. Поэтому цифры за второй год не приведены.

Классы сеянцев по размеру			Приживаемость (%) к концу года			Прирост в высоту	
диаметр, мм	высота, см	длина корня, см				1963	
			1962	1963	1964	$M \pm m$	%
0,7—0,9	4—6	13—17	—	—	—	—	—
		>17	—	73	53	$3,2 \pm 0,1$	69
	>6	13—17	—	85	65	$4,2 \pm 0,1$	82
		>17	—	70	61	$3,5 \pm 0,1$	53
		>17	—	72	65	$3,4 \pm 0,1$	53
		>17	—	72	65	$3,4 \pm 0,1$	53
0,91—1,5	4—6	13—17	88	72	70	$11,4 \pm 0,22$	195
		>17	90	69	65	$3,4 \pm 0,1$	64
	>6	13—17	85	74	71	$12,4 \pm 0,24$	197
		>17	—	86	66	$4,3 \pm 0,1$	82
		>17	84	65	57	$11,0 \pm 0,26$	175
		>17	—	79	68	$4,2 \pm 0,1$	64
1,51—2,0	4—6	13—17	91	71	65	$9,8 \pm 0,26$	136
		>17	—	77	68	$4,2 \pm 0,1$	63
	>6	13—17	91	82	80	$13,0 \pm 0,29$	153
		>17	—	79	64	$4,1 \pm 0,1$	74
		>17	96	87	86	$13,2 \pm 0,39$	151
		>17	—	86	68	$4,5 \pm 0,1$	76
2,01—3,0	4—6	13—17	91	76	72	$12,8 \pm 0,25$	135
		>17	—	75	72	$4,4 \pm 0,1$	58
	>6	13—17	94	76	70	$11,0 \pm 0,28$	115
		>17	—	77	67	$4,7 \pm 0,1$	60
		>17	89	81	78	$13,1 \pm 0,34$	130
		>17	—	—	—	—	—
>6	13—17	90	87	80	$14,2 \pm 0,36$	121	
	>17	—	—	—	—	—	
	>17	86	77	69	$12,1 \pm 0,27$	121	
	>17	—	—	—	—	—	
		>17	90	76	75	$14,3 \pm 0,26$	122

Примечание. В числителе — показатели в условиях A_{1-2} (посадка 1962 г.),

Для изучения влияния развития корневой системы были заложены специальные опыты.

Показателем степени развития служило отношение массы активных корней к весу всей корневой системы.

Посадку производили в весеннее время лесопосадочной машиной ЛМД-1 на старопахотных землях: в 1962 г. — без предварительной подготовки почвы в переходных условиях от сухого к свежему бору (A_{1-2}), а в 1963 г. — по зяблевой вспашке в условиях свежей субори (B_2). Повторность опытов трехкратная.

Об особенностях семян мы судили по интенсивности корнеобразования и степени одревеснения, приживаемости и росту. С этой целью изучали их физиологическое состояние на лесокультурной площади (чистую продуктивность фотосинтеза [4], интенсивность транспирации, сводненность и зольность хвои).

Таблица 2

за год		Прирост по массе за год					
1964		1962		1963		1964	
$M \pm m$	%	кг/га	%	кг/га	%	кг/га	%
—	—	—	—	—	—	—	—
$16,9 \pm 0,26$	366	—	—	6,2	310	84	1020
—	—	—	—	—	—	—	—
$19,0 \pm 0,27$	372	—	—	9,5	432	124	1060
—	—	—	—	—	—	—	—
$16,0 \pm 0,31$	242	—	—	8,9	445	91	836
—	—	—	—	—	—	—	—
$17,7 \pm 0,35$	276	—	—	10,8	515	124	964
—	—	—	—	—	—	—	—
$18,8 \pm 0,35$	369	9,3	387	66	563	—	—
$17,9 \pm 0,32$	338	—	—	10,6	482	108	840
$18,3 \pm 0,33$	352	9,7	388	84	689	—	—
$19,8 \pm 0,30$	381	—	—	16,9	734	142	743
$17,8 \pm 0,35$	234	7,1	284	63	655	—	—
$19,5 \pm 0,29$	295	—	—	12,1	448	117	788
$18,0 \pm 0,34$	234	8,9	356	72	633	—	—
$20,7 \pm 0,26$	309	—	—	13,7	472	158	948
—	—	—	—	—	—	—	—
$21,2 \pm 0,38$	317	13,9	339	97	539	—	—
$19,9 \pm 0,35$	310	—	—	14,5	382	132	724
$22,0 \pm 0,39$	334	14,6	365	129	691	—	—
$20,4 \pm 0,34$	346	—	—	20,1	478	170	697
$20,2 \pm 0,38$	194	13,2	264	121	563	—	—
$20,1 \pm 0,34$	264	—	—	11,8	256	152	930
$19,2 \pm 0,35$	194	14,8	290	125	627	—	—
$20,5 \pm 0,34$	263	—	—	14,1	256	161	823
—	—	—	—	—	—	—	—
$20,0 \pm 0,32$	233	18,6	266	114	447	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
$21,4 \pm 0,33$	240	19,2	271	181	687	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
$20,3 \pm 0,35$	180	11,5	165	112	603	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
$21,0 \pm 0,37$	175	15,8	205	147	623	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—

в знаменателе — в условиях В₂ (посадка 1963 г.).

Вегетационный период 1963 г. и первая половина вегетационного периода 1964 г. были очень засушливы. Сумма осадков за 1963 г. составила 58% от средней многолетней нормы, а за апрель—сентябрь этого года выпало только 203 мм осадков, что в два с лишним раза ниже, чем в соответствующем периоде 1962 г. В июле 1963 г. в переходных условиях от сухого к свежему бору запас усвояемой почвенной влаги в корнеобитаемом слое почвы (30 см) снизился до 8 мм, а в конце июня 1964 г. — до 1 мм. В условиях свежей субори в это время он был равен 10—9 мм. В табл. 2 даны результаты изучения опытных культур.

Устойчивость культур находится в прямой связи с диаметром и длиной корня исходных семян, в обратной — с их высотой. Обработка данных методом дисперсионного анализа показала, что вывод правилен на 5%-ном уровне значимости.

Таблица 3

Классы семян по размеру			Интенсивность транспирации, г/час/г сухой хвои	Влажность хвои, % на сухой вес	Зольность хвои, %	Чистая продуктивность фотосинтеза, мгС/час/г абс. сухой хвои
диаметр, мм	высота, см	длина корня, см				
0,9 — 1,5	4—6	13—17	0,320	203,5	2,16	6,59
	>6		0,272	196,5	1,91	4,15
1,51—2,0	4—7	13—17	0,278	196,1	1,76	—
	>7		0,256	190,0	1,62	—
2,01—3,0	4—9	13—17	0,263	189,4	1,64	4,37
	>9		0,243	185,8	1,52	4,92

Примечание. Условия опыта: температура воздуха 31°С; относительная влажность воздуха — 40%; освещенность 35 тыс. лк; скорость ветра — 1,1 м/сек.

Вместе с тем процент отпада был в прямой связи (0,5%-ный уровень значимости) с весовым соотношением массы активных корней и хвои, которое отражает нагрузку на корневую систему в первый и второй год жизни культур при всех прочих варьирующих условиях. Физиологические исследования (табл. 3) показывают, что состояние растений на лесокультурной площади определяется именно нагрузкой на корневую систему. Однако крупные семена более устойчивы. Это обусловлено, как показали наши исследования, более высоким уровнем интенсивности корнеобразования и степени одревеснения их.

Развитие корневой системы семян при прочих усредненных показателях в значительной мере определяет устойчивость их в культуре, однако в общей совокупности вариантов его влияние нивелируется действием других показателей.

Наблюдения за ростом показывают, что абсолютный прирост в высоту и по массе в общем возрастает по мере увеличения диаметра, длины корневой системы и улучшения его развития; связь этих величин с высотой исходных семян чаще бывает несущественной. Анализ этих данных обнаруживает тенденцию к сглаживанию расхождений, более интенсивному в культуре семян крупного диаметра и в лучших условиях произрастания. Однако относительный прирост в высоту и по массе в первые два года (по величине которого можно судить об энергии роста) снижается по мере увеличения диаметра и высоты семян, а с длиной и развитием корневой системы он находится в прямой связи (вероятность 0,95). В посадках семян с более длинной корневой системой на конец засушливого вегетационного периода 1963 г. органической массы было в среднем на 29% больше. Этот факт говорит о том, что решающим фактором является уровень обеспеченности растений влагой и элементами минерального питания.

Таким образом, крупные семена в первые два года жизни на лесокультурной площади имеют худшее физиологическое состояние, вследствие чего снижается относительная скорость их роста.

С точки зрения технической пригодности семян разных размеров при посадке машиной ЛМД-1 заслуживают внимания два обстоятельства: количество пропусков и деформация корневой системы.

Наши наблюдения показали, что при посадке самых мелких сеянцев (диаметр 0,7—0,9 мм и высота 4—6 см) число пропусков составило 12% от количества посадочных мест, а при посадке крупных (диаметр 2—3 мм и высота более 9 см) — 6%. В зависимости от принятого класса по диаметру число пропусков в среднем выглядело следующим образом: 0,7—0,9 мм — 8%; 0,91—1,5 мм — 5%; 1,51—2,0 мм — 4,5% и 2,01—3 мм — 3,5%. Увеличение числа пропусков по мере уменьшения величины сеянцев объясняется их слипанием.

В результате исследования деформации корневой системы установлено, что при посадке культур на рыхлых песчаных и супесчаных почвах корни, длина которых превышает 20 см, плавно изгибаются и выстилаются по дну посадочной щели. Изгиб наблюдается на глубине 16—20 см, несмотря на то, что глубина хода сошника составляет 25 см. Последнее имеет место потому, что стенки щели на таких почвах слегка оползают еще до окснчатальной заделки. Другого рода деформации не обнаружено.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. С. М. Зепалов. Стандартизация посадочного материала. Труды ВНИАЛМИ, вып. XI, 1938. [2]. Х. М. Исаченко. Стандартизация посадочного материала. Журн. «Лесное хозяйство» № 4, 1941. [3]. К. Ф. Мирон, Г. Г. Кругликов, А. И. Савченко и др. Результаты научно-исследовательских работ БелНИИЛХ. Вып. III. Гомель, 1940. [4]. В. Ф. Морозов. Биологические основы рубок ухода за лесом. Госиздат сельскохозяйственной литературы БССР, Минск, 1962. [5]. Ф. Г. Стахейко, Е. А. Кулприяненко. Разработка стандартов на посадочный материал для степных условий УССР. Труды УкрНИИЛХ, вып. XVII, 1955. [6]. В. Э. Шмидт. Проблема непрерывного производства лесокультурных работ. Изд-во АН УССР, Киев, 1949. [7]. Jaya G. Iyer and S. A. Wilde. Journal of Forestry, № 9, 1962. [8]. J. H. Stoekler. Journal of Forestry, № 8, 1937.

Поступила в редакцию
8 декабря 1964 г.

УДК 634.0.5

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ ПО ТОЛЩИНЕ В РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ЗАКАРПАТЬЯ

И. И. МОЛОТКОВА

Научный сотрудник

(Карпатская лесная опытная станция)

В настоящем сообщении освещен вопрос строения по толщине разновозрастных пихтовых насаждений Закарпатской области. Объектами исследований послужили естественные пихтарники с примесью ели и бука, принадлежащие к грудам и сугрудкам. Средние диаметры проб равны 30—50 см. Сомкнутость — вертикальная (не ясно выражена), ярусы по высоте не выделяются.

Такое строение пологая вызывается высокой разновозрастностью леса (в пределах 10—15 двадцатилетних классов возраста).

Коэффициент вариации возрастов равен 34,5%, колебания возраста — 0,3—2,5 естественные ступени. При распределении деревьев по естественным ступеням возраста мы получаем довольно плавную симметричную (в левой ветви 55% деревьев, в правой — 45%) вариационную кривую с высокой концентрацией стволов (71%) в семи центральных ступенях. Такое строение по возрасту служит доказательством отсутствия в насаждениях естественно обособленных поколений и позволяет отнести изучаемые девственные пихтарники к симметрично разновозрастным древостоям по Р. Г. Синельщикову [10] или к разновозрастным древостоям I группы по И. И. Гусеву [3], в которых при таксации вполне целесообразно вычислять средние данные.

Для исследования закономерностей строения по диаметру использовано 25 проб (общей площадью 25, 84 га), заложенных в наиболее распространенных естественных пихтовых древостоях. После лесоводственно-таксационного изучения на пробах производили сплошной подсчет деревьев. Всего учтено 12383 дерева.

Для выявления влияния ряда факторов на закономерности строения древостоев по толщине произведена группировка проб по типам условий местопроизрастания (С и Д), полноте (от 0,6 до 0,9), среднему диаметру (от 30 до 50 см) и др. с определением для выделенных групп средних величин заселенности ступеней. Сравнение полученных средних рядов путем вычисления для каждой ступени толщины коэффициента существенности показало, что разница между ними несущественна. Это позволяет для всех заложенных нами проб вычислить общий средний ряд. Такой ряд для насаждений со средними диаметрами 30—50 см представлен в табл. 1.

В ходе распределения стволов по ступеням есть разрывы; по указанию Б. А. Ивашкевича [6], это характерно для разновозрастного леса.

Таблица 1

Естественные ступени толщины	Заселенность ступеней	Естественные ступени толщины	Заселенность ступеней
0,1	0,19	1,8	1,03
0,2	2,06	1,9	0,47
0,3	4,37	2,0	0,28
0,4	5,93	2,1	0,19
0,5	6,50	2,2	0,08
0,6	6,88	2,3	0,05
0,7	7,45	2,4	0,05
0,8	8,02	2,5	0,01
0,9	10,66	2,6	0,01
1,0	10,66	2,7	0,01
1,1	10,0	2,8	0,01
1,2	8,04	2,9	—
1,3	5,83	3,0	—
1,4	3,97	3,1	—
1,5	3,35	3,2	0,01
1,6	1,98	3,3	0,01
1,7	1,38		

Следует отметить, что составление средних рядов распределения для насаждений различных типов леса, классов бонитета, полнот и др. при определенных пределах колебания среднего диаметра на данном этапе развития таксации считается закономерным ([1], [4], [5], [8], [11], [12] и др.).

Прежде всего необходимо убедиться, не явился ли материал, послуживший основой для составления среднего ряда, случайным, выражают ли полученные величины определенную закономерность. Степень вариации числа деревьев в ступенях толщины разных проб высока: в наиболее распространенных (0,4—1,5) она составляет 20—47,5%, в крайних достигает 300—400%. Достаточно большую разнородность в заселенности ступеней толщины даже для однородных разновозрастных насаждений отмечали А. В. Тюрин [11] и В. И. Левин [8]. Не удивительно поэтому, что коэффициент изменчивости в разнородных разновозрастных насаждениях еще выше.

Однако изменение вариант в пределах ступеней вполне закономерно — ряды стремятся к нормальному распределению. Об этом свидетельствует характер отклонения вариант от среднего арифметического

Таблица 2

Естественные ступени толщины	Число вариант, отклоняющихся от $M_{\text{ср}}$		
	1σ	2σ	3σ
0,4	70	95	100
0,5	75	85	100
0,6	70	95	100
0,7	65	95	100
0,8	55	100	—
0,9	65	95	100
1,0	55	95	100
1,1	65	95	100
1,2	70	95	100
1,3	70	95	100
1,4	60	100	—
1,5	70	90	100

Примечание. σ — среднее квадратическое отклонение.

(табл. 2) и величины коэффициента расхождения Q действительных рядов в пределах ступеней и нормальных рядов по формуле Бортьевича [2].

В центральных ступенях толщины коэффициент расхождения весьма близок к единице (что идеально), а среднее арифметическое этого коэффициента для всех ступеней — 1,4, то есть находится в допустимых пределах, за которыми явление уже нетипично.

Показатель точности определения средних величин в наиболее заселенных ступенях, представляющих 88,7% всех стволов, не превышает 10,7%, что составляет от 0,3 до 2 деревьев на 1 га, перенесение которых то в высшую, то в низшую ступень не будет иметь существенного значения (табл. 3). В таких же пределах находятся показатели точности определения средних величин заселенности ступеней, полученные А. В. Тюриным [11].

Таблица 3

Естественные ступени толщины	Показатели точности	Естественные ступени толщины	Показатели точности
0,4	8,1	1,0	6,9
0,5	8,5	1,1	7,3
0,6	4,7	1,2	6,7
0,7	4,4	1,3	5,3
0,8	8,1	1,4	7,0
0,9	8,7	1,5	10,7

Итак, наш средний ряд (табл. 1) вероятного распределения числа деревьев по ступеням толщины оказался довольно устойчивым и определенным с достаточной точностью.

Средняя величина диаметра в общем ряду, составленном по числу стволов, оказалась равной 0,92 (36,8 см), среднее квадратическое отклонение σ вариант от средней арифметической составляет 0,387 (14,2 см), коэффициент изменчивости — 42,1%, точность определения средней величины — 4,2%. Коэффициент расхождения Q нашего ряда и ряда нормального равен 0,99, асимметрия $S = +0,17$, эксцесс $E = +0,0845$ [7]. От средней величины на 1σ отклоняется 67,48% деревьев, на 2σ — 96,22%, на 3σ — 99,57%, на 4σ — 99,94%, на 5σ — 99,98%, на 6σ — 99,99%, на 7σ — 100%. Значение Q , S , E и характер отклонения вариант от среднего показывают близость полученного ряда к нормальному, что позволяет произвести выравнивание нашей кривой по пертурбационной функции Шарлье $\varphi_1(x)$ и ее частному случаю — функции нормального распределения $\varphi(x)$ [7].

Оба ряда, полученные вычислением, близки к нашему действительному ряду, что установлено определением для каждой ступени толщины коэффициента точности распределения H^* . Мы выбрали ряд, полученный выравниванием по формуле Шарлье, так как в нем ближе к действительной заселенности наиболее ценных толстых ступеней. Средний коэффициент точности распределения его равен 0,18, то есть кривые выравненная и действительная весьма близки.

Этот ряд после приведения суммы вариант к 100% и средней таксационной величины к единице приведен в табл. 4; на его основании

* $H = \frac{1}{s-1} \sum \frac{(V_{k_1} - V_k)^2}{V_k}$, где V_{k_1} и V_k — действительное и выравненное распределения; s — число ступеней.

Таблица 4

Естественные ступени толщины	Распределение числа деревьев	Распределение площадей сечения	Естественные ступени толщины	Распределение числа деревьев	Распределение площадей сечения
0,1	0,89	0,0089	1,8	0,91	2,9484
0,2	1,55	0,0620	1,9	0,63	2,2743
0,3	2,65	0,2385	2,0	0,46	1,8400
0,4	4,22	0,6752	2,1	0,32	1,4112
0,5	5,89	1,4725	2,2	0,18	0,8712
0,6	8,19	2,9484	2,3	0,09	0,4761
0,7	10,03	4,9147	2,4	0,06	0,3456
0,8	11,25	7,2000	2,5	0,04	0,2500
0,9	11,50	9,3150	2,6	0,03	0,2028
1,0	10,54	10,5400	2,7	0,03	0,2187
1,1	8,65	10,4665	2,8	0,02	0,1568
1,2	7,16	10,3164	2,9	0,02	0,1682
1,3	5,30	8,9570	3,0	0,02	0,1800
1,4	3,73	7,3108	3,1	0,01	0,0961
1,5	2,59	5,8275	3,2	0,01	0,1024
1,6	1,79	4,5824	3,3	0,01	0,1089
1,7	1,23	3,5547			

вычислено распределение по ступеням толщины суммы площадей сечения, помещенное в той же таблице.

Итак, мы имеем довольно симметричную, одновершинную кривую с сравнительно высокой концентрацией стволов около среднего диаметра (в девяти центральных ступенях сосредоточено 78,51%). Наш ряд содержит 61,4% деревьев тоньше среднего по площади сечения дерева и 39,6% — толще его. Степень вариации положения среднего дерева невысока — 7,9%, оно определено с точностью 1,8%. На долю численно большей тонкомерной части древостоя приходится 32,16% суммы площадей сечения всего насаждения, численно меньшей толстомерной — 67,84%.

Сравним наш ряд с рядами других авторов (рис. 1). Прежде всего отмечаем разницу в распределении деревьев в разновозрастных пихтарниках и в одновозрастном лесу: в первых основная масса стволов сконцентрирована в большем количестве ступеней толщины, чем в одновозрастных, степень вариации диаметров и их разбег выше. Отличается и положение среднего дерева: в разновозрастном лесу оно отстоит дальше от самого тонкого.

Сравнение нашего ряда для пихты с другими рядами распределения для разновозрастных насаждений из теневыносливых хвойных [9], [13] показывает их принципиальное сходство (одновершинность, распределение основного числа деревьев в значительном количестве ступеней, высокая степень вариации диаметров).

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. П. Анучин. Лесная таксация. Гослесбуиздат, 1952. [2]. В. В. Голубев. Элементы математической статистики в приложении к лесному делу. М., 1929. [3]. И. И. Гусев. К вопросу о возрастной структуре ельников Архангельской области. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 2, 1962. [4]. И. И. Гусев. О строении ельников Архангельской области. Сообщение I. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1960. [5]. М. В. Давидов. Строение буковых насаждений. Журн. «Лесное хозяйство» № 3, 1951. [6]. Б. А. Ивашкевич. Девственный лес, особенности его строения и развития. Журн. «Лесное хозяйство и лесная промышленность» № 10, 11, 12, 1929. [7]. И. А. Кищенко. Опыт применения статистического метода к изучению строения древесно-растительных сообществ. Сб. «Лесоведение и лесоводство», вып. 1—3, 1926. [8]. В. И. Левин. К вопросу о строении сосняков Архангельской области. Труды Архангельского лесотехнического института им. Куйбышева, т. XIII, Архангельск, 1949. [9]. И. И. Левицкий, А. С. Матвеев-Мотин, Б. К. Харлампович. К изучению строения разновоз-

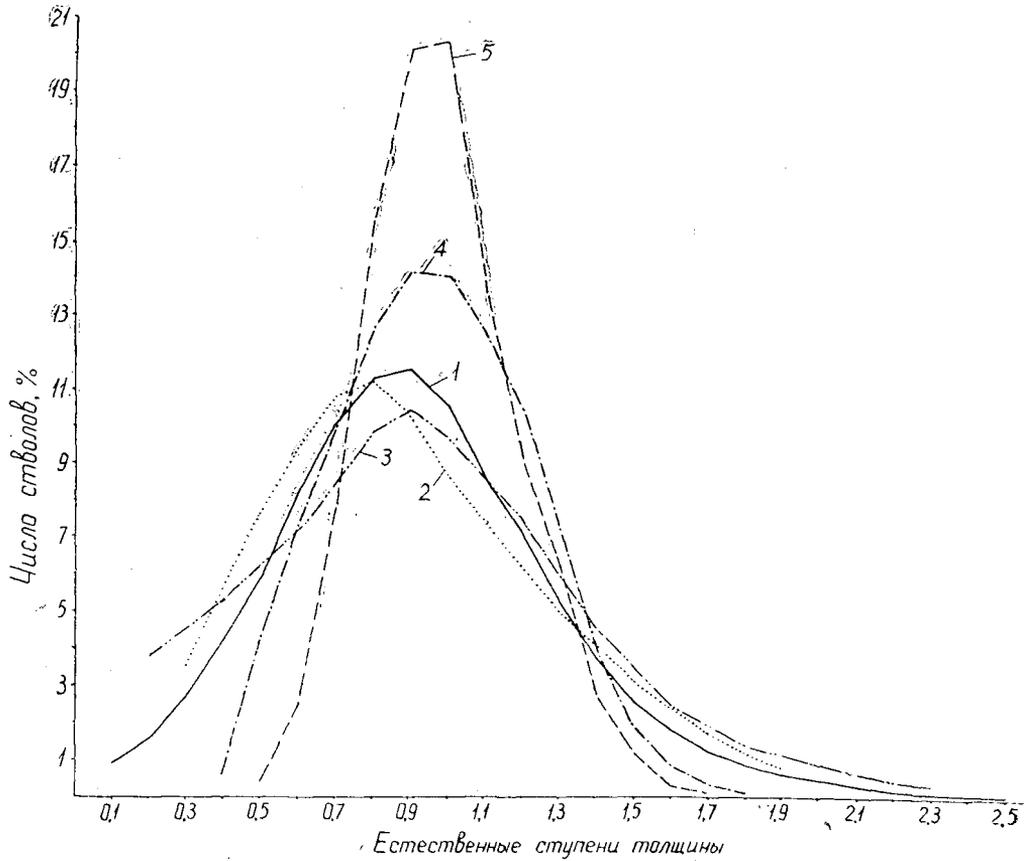


Рис. 1. Распределение числа стволов по естественным ступеням толщины, %.

1 — наш выравненный ряд для разновозрастных древостоев пихты европейской Закарпатья; 2 — ряд И. И. Левицкого, А. С. Матвеева-Мотина и Б. К. Харламповича [9] для разновозрастных ельников; 3 — ряд Э. Н. Фалалева [13] для спелых и перестойных разновозрастных насаждений пихты сибирской; 4 — ряд И. И. Гусева [4] для толстомерных разновозрастных ельников с естественным изреживанием; 5 — ряд А. В. Тюрина [11] для среднемерных одновозрастных древостоев при уборке отпада.

растных древостоев. Труды ЦНИИМЭ, 1958. [10]. Р. Г. Синельщиков. К вопросу о возрастной структуре ельников. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 1958. [11]. А. В. Тюрин. Нормальная производительность насаждений. Сельхозгиз, 1930. [12]. А. В. Тюрин. Строение нормальных насаждений. Журн. «Лесное хозяйство, лесная промышленность и топливо» № 1, 1923. [13]. Э. Н. Фалалеев. Строение пихтовых лесов Сибири. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 4, 1960.

Поступила в редакцию
29 апреля 1963 г.

УДК 634.0.228.8

ОСНОВНЫЕ АССОЦИАЦИИ ТОПОЛЕВЫХ ЛЕСОВ ПОЙМЫ р. БУРЕИ

В. С. ШАГА

Аспирант

(ДальНИИЛХ)

Топольевые леса р. Буреи — одна из важнейших сырьевых баз будущих целлюлозно-бумажных предприятий. Однако состав этих лесов, размещение и смены их в пойме изучены слабо. В 1960 и 1964 гг. мы исследовали тополевики пойменной террасы р. Буреи в составе экспедиции Приамурского филиала Географического общества СССР и Дальневосточного НИИ лесного хозяйства.

В нашей статье описаны ассоциации тополевых лесов среднего течения р. Буреи, согласно методике В. Н. Сукачева и С. В. Зонна (табл. 1).

1. Тополево-чозениевый лес рябинниковый служит переходной ассоциацией от чозеников к тополевикам. Через 70—90 лет из древостоя насаждения выпадает чозения, и тополь доминирует. Описываемая ассоциация широко распространена в районе исследования. Обычно она формируется в прирусловой области поймы на аллювиальных наносах мощностью до 1 м, с незначительным слоем лесной подстилки. Периодически заливается паводковыми водами. Почва аллювиальная суглинистая слабо задерненная на гальке, умеренно влажная.

Древостой одноярусный (сомкнутость крон 0,6—0,8), запас 400 м³ на 1 га. Характерная особенность ассоциации — образование хорошо выраженного и густого (сомкнутость 0,8—0,9) яруса из рябинника рябинолистного. В первом травяном подъярусе (покрытие 20—30%) обычны: лабазник дланевидный, крапива узколистная, недотрога обыкновенная, водосбор амурский, звездчатка лучистая. Во втором подъярусе отмечены: мерингия бокоцветная, селезеночник волосистый, селезеночник ветвистый и др. Моховой и лишайниковый покровы почти не развиты.

2. Топольвик свидиновый занимает пониженные и увлажненные участки пойменной террасы. Развивается на аллювиальных почвах с неясно выраженными генетическими горизонтами. Почва слоисто-аллювиальная слабо задерненная влажная.

Сомкнутость крон 0,8—0,6, запас древесины 500 м³ на 1 га. В подлеске (сомкнутость 0,6) преобладает свидина белая. Из трав (покрытие 20%) отмечены: вейник Лангсдорфа, василистник скрученный, волжанка азиатская, дудник даурский, овсяница красная. Второй подъярус образует грушанка красная, фиалка скальная, одуванчик лапландский. Из лиан обычен княжик охотский и др. Напочвенный покров из мхов и лишайников выражен слабо.

Таблица 1

Название ассоциации	Состав и показатели древостоя	Подлесок	Класс бонитета
Тополево-чозениевый лес рябиновый	8 тополь душистый, высота 24 м, диаметр 48 см, возраст 40 лет; 2 чозения толокнянколистная, высота 23 м, диаметр 45 см, возраст 35 лет	Рябинник рябинолистный, свидина белая, черемуха азиатская, смородина бледноцветковая, клен желтый и др.	I
Тополевник свидиновый	10 тополь, высота 20 м, диаметр 35 см, возраст 30 лет; ед. чозения, высота 19 м, диаметр 20 см, возраст 27 лет	Свидина, роза даурская, смородина, ольха пушистая, жимолость съедобная, рябина амурская и др.	I
Тополевник вейниковый	10 тополь, высота 22 м, диаметр 23 см, возраст 30 лет; ед. чозения, высота 22 м, диаметр 25 см, возраст 30 лет; ед. ива росистая, высота 15 м, диаметр 20 см, возраст 40 лет	Ольха пушистая, роза, черемуха, рябинник, смородина дикуша, таволга средняя и др.	I
Тополевник грушанковый	9 тополь, высота 20 м, диаметр 19 см, возраст 30 лет; 1 чозения, высота 19 м, диаметр 24 см, возраст 40 лет; ед. ива, высота 18 м, диаметр 18 см, возраст 40 лет	Смородина бледноцветковая, свидина, роза, рябинник, черемуха, ель, пихта	I-
Тополевник майниковый	10 тополь, высота 25 м, диаметр 50 см, возраст 70 лет	Свидина, роза, рябинник, черемуха, рябина, ель, пихта	I
Тополевник ольховый	10 тополь, высота 20 м, диаметр 25 см, возраст 28 лет; ед. чозения, высота 18 м, диаметр 20 см, возраст 27 лет	Ольха кустарниковая, ольха, свидина, черемуха, роза и др.	I
Тополевник страусниковый	10 тополь, высота 24 м, диаметр 40 см, возраст 70 лет; ед. чозения, высота 23 м, диаметр 30 см, возраст 50 лет	Клен, рябинник, свидина, черемуха и др.	I
Тополевник черемуховый	10 тополь, высота 25 м, диаметр 50 см, возраст 80 лет	Черемуха, рябинник, свидина, клен, смородина дикуша и др.	I
Тополевник рябиновый	10 тополь, высота 26 м, диаметр 60 см, возраст 70 лет; ед. ива, высота 20 м, диаметр 26 см, возраст 50 лет	Рябинник, лимонник китайский, свидина, роза, смородина бледноцветковая и др.	I-II
Тополево - пихтовый лес зеленомошный	3 тополь, высота 26 м, диаметр 70 см, возраст 90 лет; 4 пихта почко-чешуйная, высота 24 м, диаметр 25 см, возраст 70 лет; 3 ель аянская, высота 25 м, диаметр 26 см, возраст 80 лет	Смородина дикуша, свидина, рябинник, ель, пихта и др.	II

3. Топольник черемуховый характерен для пониженных и блажных местообитаний поймы с илесто-песчаными наносами. Почва слоисто-аллювиальная иловатая слабо задерненная влажная.

Во втором ярусе (сомкнутость 0,5) господствует черемуха азиатская. Запас древесины тополя 500 м^3 на 1 га. Подрост тополя отсутствует. Кустарниковый ярус (сомкнутость 0,1) представлен небольшим количеством видов. Травяной ярус (покрытие 20—30%) разнообразен по видовому составу. В первом подъярусе встречаются лабазник, волжанка, костер сибирский, вейник. Во втором подъярусе отмечены мерингия, фиалка, вороний глаз шестилистный, хвощ лесной, тригонотис незабудковый и др.

4. Топольник ольховый встречается на часто заливаемых элементах пойменного мезорельефа с близким залеганием грунтовых вод. Почва слоисто-аллювиальная иловато-суглинистая на гальке, влажная.

Сомкнутость крон 0,8—0,7. Запас древесины тополя 500 м^3 на 1 га. В подросте характерно появление ели и пихты. В кустарниковом ярусе (сомкнутость 0,5) преобладает ольха кустарниковая. В травяном покрове (покрытие 10—20%) обычны осока лесолюбивая, вейник, латук сибирский, астрагал Шелихова, валериана корейская, крестовник дубравный, грушанка красная и др. На стволах деревьев и на валежнике характерны мхи и лишайники: неккера, леукодон, дрепанокладус, брахитетиум и др.

5. Топольник рябинниковый развивается на повышенных, менее увлажненных и редко заливаемых участках поймы. Почва слоисто-аллювиальная песчано-суглинистая слабо задерненная, умеренно влажная.

Сомкнутость крон 0,7, запас древесины тополя 500 м^3 на 1 га. Подрост состоит преимущественно из ели и пихты. В кустарниковом ярусе (сомкнутость 0,8) доминирует рябинник. Травяной покров (покрытие 30%) неравномерный. Первый подъярус состоит из вейника, осоки, страусника обыкновенного, второй подъярус представляют грушанка, мерингия, фиалка, звездчатка ялусская и др. Мхи и лишайники развиты слабо.

6. Топольник страусниковый — характерная ассоциация района. Обычна для пониженных, но редко заливаемых участков поймы. Почва слоисто-аллювиальная иловато-песчаная на гальке, умеренно влажная.

Сомкнутость крон древесного яруса 0,6—0,8, запас тополевой древесины — 600 м^3 на 1 га. Подрост состоит из ели и пихты. Кустарниковый ярус разреженный (сомкнутость 0,2—0,3). В травяном ярусе (покрытие 60—70%) преобладает страусник. Моховой покров развит слабо. Общее покрытие почвы 5—10%. Чаше встречаются виды из родов хилокомиум, плеврисиум; из лишайников — пельтигера и др.

7. Топольник вейниковый занимает повышенные участки центральной поймы с умеренным увлажнением. Это наиболее часто встречающаяся в районе ассоциация. Почва слоисто-аллювиальная песчано-суглинистая иловатая, умеренно влажная.

Сомкнутость крон 0,5—0,7, запас тополевой древесины 500 м^3 на 1 га. В подросте отмечены ель и пихта. Сомкнутость кустарникового яруса 0,2—0,4. В травяном покрове (покрытие 70—90%) господствует вейник, образующий первый подъярус. Во втором подъярусе отмечены водосбор амурский, осока низенькая, гвоздика ползучая, прострел даурский, астрагал альпийский и др.

8. Топольник грушанковый занимает небольшие участки в редко заливаемой части поймы. Это наименее распространенная

ассоциация района исследования. Почва слоисто-аллювиальная супесчаная слабо оподзоленная на гальке, умеренно влажная.

Сомкнутость крон древесного яруса 0,7—0,8, запас тополя 450 м³ на 1 га. В подросте ель и пихта. Кустарниковый ярус (сомкнутость 0,3) беден по видовому составу и состоит из свидины, рябинника, розы даурской и др. В травяном ярусе (покрытие 40%) преобладает грушанка, реже отмечены фиалка, вороний глаз шестилистный и др. Мхи составляют 10% покрытия. Обычны виды из родов хилокомиум, плевроциум, мниум и др., поселяющиеся на валежнике и пнях.

9. Тополевник майниковый — менее распространенная, но типичная ассоциация в пойме Буреи. Обычно он занимает русла старых проток в центральной области поймы. Почва слоисто-аллювиальная супесчано-суглинистая на гальке, умеренно влажная. По составу растений близка к предыдущей ассоциации.

Сомкнутость крон 0,5, запас около 480 м³ на 1 га. Сомкнутость кустарникового яруса 0,3—0,4. В травяном покрове преобладает майник.

10. Тополево-пихтовый лес зеленомошный занимает повышенные и выходящие из-под влияния заливания участки центральной области поймы. Эта ассоциация является заключительной стадией развития тополевых лесов в пойме Буреи. После отмирания тополя эту область поймы занимают пойменные елово-пихтовые леса. Почва дерново-аллювиальная подзолистая на гальке.

Сомкнутость крон 0,7, запас тополевой древесины 500 м³ на 1 га. В возобновлении ель и пихта. Сомкнутость кустарникового яруса 0,8—0,4. В травяном ярусе (покрытие 40—20%) обычны спутники темнохвойных лесов: кислица обыкновенная, двулепестник альпийский, мителла голая, майник, лютик лапландский и др. Из мхов отмечены хилокомиум, плевроциум, дикранум и др.

Тополевые леса в пойме р. Буреи имеют большое берегозащитное значение, что следует учитывать при ведении хозяйства в них. В подобных лесах следует рекомендовать только выборочные рубки слабой интенсивности. В первую очередь рубке должны подлежать перестойные деревья. В настоящее время тополевые леса совершенно не используют в лесной промышленности района исследования (не считая применения древесины тополя для местных потребностей населения). Древесина тополя необходима для спичечного производства и целлюлозно-бумажной промышленности. Поэтому изучение состава и динамики тополевых лесов имеет не только научное, но и практическое значение.

Поступила в редакцию
29 марта 1965 г.

УДК 621.43

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ПРИ ПОДАЧЕ ТОПЛИВА В ЗАМКНУТООУ КАМЕРУ

В. Ф. ПОПОВ

Доцент, кандидат технических наук

В. П. ТЮКАВИН

Старший преподаватель

(Архангельский лесотехнический институт)

Плунжерная пара топливных насосов лесотранспортных дизельных двигателей является важнейшим узлом, от которого в значительной мере зависит надежность и долговечность работы топливовпрыскивающей аппаратуры, а следовательно, и всего двигателя. Плунжерная пара изготавливается с высокой точностью и чистотой обработки рабочих поверхностей. У новых деталей величина зазора колеблется в пределах от 1 до 4 мк [1]. В процессе работы первоначальный зазор между плунжером и гильзой постепенно увеличивается. Износ плунжера и гильзы происходит крайне неравномерно по рабочим поверхностям. Основной износ располагается в зоне средних и малых подач и обусловливается абразивным действием частиц и конструкцией насосного элемента [5].

В связи с тем, что абсолютные значения величины износа трудно измеримы, оценку технического состояния плунжерной пары производят косвенным способом. Все известные способы определения технического состояния плунжерной пары основаны, главным образом, на изменении интенсивности утечки топлива через зазор между плунжером и гильзой. Принято считать, что утечку топлива в зазор определяет следующее выражение [4]:

$$q = B \cdot P \delta_r^x, \quad (1)$$

где B — коэффициент, зависящий от условий испытания и вязкости жидкости;

P — давление в системе;

— радиальный технологический зазор в сопряжении;

x — показатель степени, зависящий от величины зазора.

По экспериментальным данным Д. Ф. Гуревича [4], при постоянном давлении ($P = 200 \text{ кг/см}^2$) величина x колеблется от 2,2 до 3.

Оценку технического состояния плунжерной пары обычно производят на гиревых стендах при постоянном давлении в надплунжерном пространстве (статический метод). Гидравлическая опрессовка пары в этом случае осуществляется на смесях большей вязкости, чем дизельное топливо, и при больших активных ходах плунжера. При работе на подоб-

ных приборах трудно добиться повторяемости результатов, и точность замеров при этом не выше 10—15% [2], [3].

Между тем, наиболее точным и приемлемым параметром, по которому можно определять техническое состояние сопряжения плунжер — гильза, может быть максимально развиваемое давление при подаче топлива на пусковых оборотах в глухую замкнутую камеру (динамический метод).

Рассмотрим некоторые закономерности повышения давления в системе при динамическом методе контроля.

Пренебрегая утечками через зазоры и считая объем системы постоянным, на основании условия неразрывности можно написать такое уравнение:

$$\frac{dh}{dt} \cdot f = \frac{dP_n}{dt} \alpha \cdot V, \quad (2)$$

где dh — перемещение плунжера за время dt ;
 f — площадь плунжера;
 dP_n — приращение давления в полости высокого давления за время dt ;
 α — коэффициент сжимаемости топлива и расширения системы;
 V — объем топлива во всей системе.

Интегрируя уравнение (2), получаем

$$h \cdot f = \alpha \cdot V \cdot P_n + C. \quad (3)$$

Если пренебречь дросселированием топлива во всасывающих и отсечных окнах, то из начальных условий постоянная интегрирования C будет равна нулю.

Тогда для рассматриваемого случая уравнение (3) можно записать в таком виде:

$$h \cdot f = \alpha \cdot V \cdot P_n. \quad (4)$$

При наличии остаточного давления P_{n-1} в объеме V_τ выражение (4) принимает вид

$$h \cdot f = \alpha \cdot V \cdot P_n + \alpha V_\tau (P_n - P_{n-1}). \quad (5)$$

Из выражения (5) находим

$$P_n = \frac{h \cdot f + \alpha V_\tau P_{n-1}}{\alpha (V + V_\tau)}, \quad (6)$$

где V_τ — объем топлива, находящегося под давлением.

Анализ формулы (6) показывает, что увеличение давления в системе будет происходить по закону прямой линии, а величина приращения давления за цикл (наклон этой прямой) зависит от площади плунжера f , установленной подачи h , физических свойств топлива и объема системы прибора α , V и V_τ .

Процесс изменения давления в системе в общем виде можно представить следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dP_n}{dt} = \frac{f \cdot c \cdot q}{\alpha \cdot V_\tau}, \quad (7)$$

где c — скорость перемещения плунжера;
 q — утечки топлива в рабочие зазоры.

Как видно из уравнения (7), предел повышения давления до максимально развиваемого может быть получен при соблюдении равенства

$$f \cdot c = q, \quad (8)$$

то есть в случае равенства поданного и просочившегося в зазоры топлива. В этом случае процесс становится стационарным и не зависит от времени наблюдения.

Таким образом, при определенных условиях можно по величине максимально развиваемого давления судить о техническом состоянии плунжерной пары.

На рис. 1 показана принципиальная схема определения гидравлической плотности плунжерной пары, основанная на измерении максимально развиваемого давления при подаче топлива в глухую замкнутую камеру. В простейшем случае максимально развиваемое давление фиксируется манометром 1, который трубопроводом 2 присоединяется к надплунжерному пространству испытываемого насосного элемента. Остальная часть устройства представляет одноплунжерный насос, снабженный специальным направляюще-фиксирующим устройством.

Как показали наши исследования, по этой схеме можно получить наиболее точное представление о техническом состоянии плунжерной пары, при высокой повторяемости замеров.

Динамический метод контроля впервые практически реализован в конструкции универсального стенда СКПП-2-АЛТИ.

Стенд предназначен для проверки технического состояния как новых, так и бывших в эксплуатации плунжерных пар насосов типа НК-10 (Д-6, Д-12), 4ТН 8,5 × 10 (Д-40, Д-60Т) и других с диаметром плунжера не выше 12 мм.

Проведенные исследования позволили установить оптимальные условия при контроле плунжерных пар на стенде СКПП-2.

Например, для плунжерных пар двигателей типа Д-6 эти условия определяются величиной давления, развиваемого плунжерной парой при угле поворота плунжера $\beta = 42,5^\circ$ от нейтрального положения*, числе оборотов кулачкового вала $n = 250$ об/мин ($c = 0,12-0,15$ м/сек) и вязкости дизельного топлива $\mu = 3,1 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$. Объем системы прибора стенда $V = 6,52 \text{ см}^3$.

Дальнейшие исследования динамического метода контроля плунжерных пар показали, что величина рабочего зазора между плунжером и гильзой при нагнетании топлива все время изменяется. Величина рабочего зазора $\delta_{\text{раб}}$ определяется первоначальным технологическим

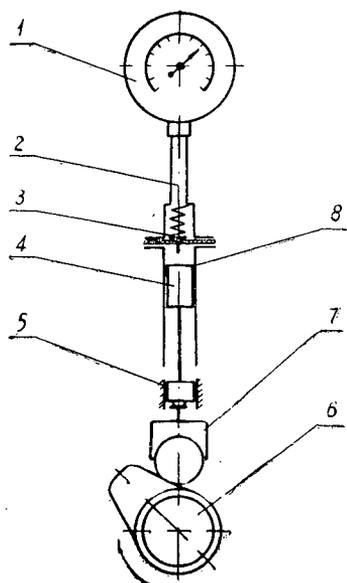


Рис. 1. Схема определения гидравлической плотности плунжерной пары, основанная на измерении максимально развиваемого давления при подаче топлива в замкнутую камеру.

1 — манометр высокого давления; 2 — трубопровод высокого давления; 3 — разобщительный клапан; 4, 5 — испытываемый плунжер и гильза; 6 — направляюще-фиксирующее устройство плунжера; 7 — толкатель.

* Под нейтральным положением плунжера понимается такое его положение, когда геометрическая середина вертикальной прорези головки плунжера лежит в одной плоскости с центрами отверстий гильзы.

зазором δ_z , деформацией гильзы в связи с давлением в надплунжерном пространстве δ_p , величиной предварительной затяжки гильзы $\delta_{\text{деф}}$ и взаимным положением плунжера в гильзе, обусловленным гидродинамической неуравновешенностью плунжера [6].

Полученные осциллограммы показали, что контроль плунжерных пар двигателя типа Д-6 на стенде СКПП-2 происходит за три этапа.

1 — подъем до некоторого неизменного максимального давления, характеризующего гидравлическую плотность контролируемой пары. Время достижения максимально развиваемого давления незначительно зависит от гидравлической плотности плунжерной пары. Например, для пар высокой плотности ($P_{\text{max}} = 900 \text{ кг/см}^2$) это время равно 9,5 сек (38—40 циклов), а для плунжерных пар ($P_{\text{max}} = 425 \text{ кг/см}^2$) — 7,5 сек (30—32 цикла).

2 — работа прибора при неизменном максимальном давлении. Это время может быть любой желаемой продолжительности и определяется периодом, необходимым для фиксации наблюдателем величины максимально развиваемого давления. По нашим наблюдениям, этот период определяется интервалом 4—6 сек.

3 — сброс давления до минимального, в связи с окончанием процесса контроля. Это время для всех плунжерных пар при работающем приборе равно 1,5 сек и при неработающем — 1 сек.

Таким образом, максимальное время испытаний для производства одного зазора составляет 17 сек.

На рис. 2 показана типичная осциллограмма контроля плунжерной пары двигателя типа Д-6 при подаче топлива в замкнутую камеру. На участке I произведена запись процесса при неработающем стенде.

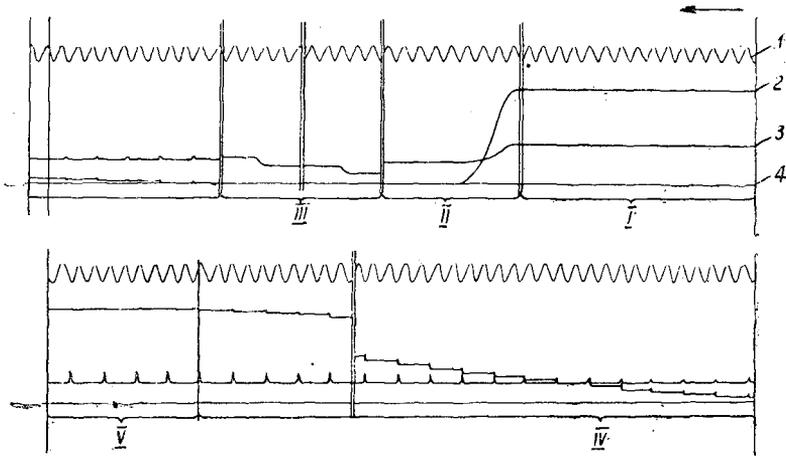


Рис. 2. Осциллограмма процесса контроля плунжерной пары при подаче топлива в замкнутую камеру.

1 — отметчик времени $\frac{1}{10}$ сек; 2 — давление в системе; 3 — деформация гильзы плунжера; 4 — нулевая линия; скорость пленки — 25 м/сек; $P_{\text{max}} = 900 \text{ кг/см}^2$.

Как видно из осциллограммы, давление в системе при этом не изменяется и равно $P_{\text{max}} = 900 \text{ кг/см}^2$. На участке II произведен сброс давления. Видно, что деформация гильзы с давлением синхронно уменьшается и становится равной величине предварительной затяжки. На участке III произведена затяжка гильзы в три приема ($\delta_{\text{деф}} = 0,6 \text{ мк}$).

На участке IV стэнд включен, клапан сброса давления закрыт. Наблюдаемое циклическое увеличение давления в полости прибора вызывает пропорциональное увеличение переменной деформации гильзы от давления P_n и связанное с этим увеличение зазора δ_p .

Циклическое повышение давления происходит до максимального значения (в данном случае $P_{max} = 900 \text{ кг/см}^2$), что и характеризует гидравлическую плотность испытываемой плунжерной пары. На участке V осциллограммы отчетливо видна неизменность максимально развиваемого давления во времени при работающем стэнде, то есть наблюдается равенство (8).

Многочисленные повторные испытания плунжерных пар в таком режиме показывают хорошую стабильность и повторяемость результатов опыта. Так, например, средняя арифметическая x и квадратическая σ ошибки 875 измерений у 35 плунжерных пар соответственно равны: $x = 680,3$, $\sigma = 11,7$. Параметр устойчивости показаний на стэнде СКПП-2, определяемый как $A = \pm \frac{100\sigma}{x}$, равен 1,75%. Для сравнения заметим, что параметр устойчивости A , полученный М. В. Вельяминовым на модернизированном гиревом стэнде 9692-11 Ногинского завода топливной аппаратуры, равен 9,4% [2].

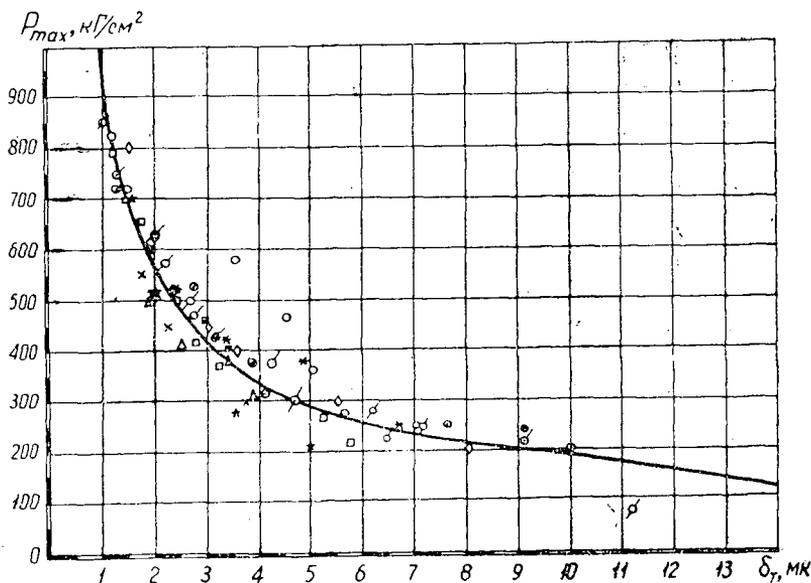


Рис. 3. Изменение P_{max} от δ_T при подаче топлива в замкнутую камеру на СКПП-2.

При определении технического состояния плунжерных пар при подаче топлива в замкнутую камеру наблюдается отчетливая зависимость максимального давления от величины зазора в сопряжении. На рис. 3 показана экспериментальная графическая зависимость максимального давления P_{max} от величины технологического зазора δ_T плунжерной пары двигателя типа Д-6, полученная для условий испытания на СКПП-2 при использовании дизельного топлива $\rho = 3,1 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{м}^3}$. На

рисунке нанесены 70 опытных точек, полученных при испытании 12 эталонных плунжерных пар. Увеличение зазоров в сопряжении достигалось сошлифовкой плунжеров с помощью притиров.

Аппроксимирующая функция полученной зависимости $P_{max} = f(\delta_r)$ с точностью 5% описывается выражением

$$P_{max} = \frac{900}{\sqrt[3]{\delta_r^2}} \text{ кг/см}^2. \quad (9)$$

В выражении (9) величину радиального технологического зазора δ_r необходимо брать в микронах.

Исследования позволили установить критические значения плотности плунжерных пар при подаче топлива в замкнутую камеру. Верхний предел максимальной плотности ограничивается лишь условием самоопускания плунжера под собственным весом. Наши наблюдения показали, что даже самые плотные пары при подаче топлива в замкнутую камеру на СКПП-2 не могут развивать давление выше 950 кг/см^2 . Одновременно было замечено, что такие пары имеют тенденцию к зависанию. Нижний предел плотности плунжерных пар двигателей типа Д-6 ограничивается максимальным давлением 450 кг/см^2 , что соответствует условному технологическому зазору $\delta_r = 2,6 \text{ мк}$.

Одним из условий нормальной работы двигателя является подбор комплектов топливной аппаратуры по одинаковой производительности. Согласно установившимся правилам, в топливный насос плунжерные пары подбираются только по величине плотности в пределах одной группы, характеризующей условную гидравлическую характеристику насосных элементов. Для того чтобы не усложнять процесс комплектовки топливных насосов, число групп плотности принято равным четырем. Исходя из этих соображений, при контроле плунжерных пар на СКПП-2-АЛТИ целесообразно принять следующие группы плотности насосных элементов двигателей типа Д-6: I — $450—549 \text{ кг/см}^2$; II — $550—649$; III — $650—749$; IV — 750 кг/см^2 и выше.

В течение 1962—1964 гг. мы проводили производственные испытания предложенного метода определения технического состояния плунжерных пар при подаче топлива в замкнутую камеру.

Так, например, на Вологодском мотороремонтном заводе на СКПП-2 было проверено и скомплектовано свыше 50 000, а на Сыктывкарском механическом заводе — 16 000 плунжерных пар. Все предприятия отмечают хорошую повторяемость результатов испытания плунжерных пар и связанное с этим повышение качества и стабильности регулировок топливных насосов при комплектовке по новому методу.

В процессе длительных производственных испытаний обнаружилась необходимость проверки новых плунжерных пар для уменьшения неравномерности подачи при регулировке насосов на пониженных подачах и оборотах. Вместе с тем опыт показал, что при проверке плунжерных пар ремонтного фонда удается повторно использовать около 30% плунжерных пар.

Для оценки работоспособности плунжерных пар ремонтного фонда, скомплектованных на СКПП-2, были произведены сравнительные моторные и безмоторные испытания топливных насосов двигателей типа Д-6. Эти испытания и последующие более чем трехлетние наблюдения показали, что топливные насосы с плунжерными парами, скомплектованными на СКПП-2, обеспечивают хорошие показатели работы во всем рабочем диапазоне. Особенно заметно улучшение работы топливного насоса и двигателя в области малых подач при пониженных оборотах.

Стендовые испытания показали, что на всех режимах двигатель с плунжерными парами I—IV комплектности работает очень устойчиво и имеет хорошие технико-экономические показатели.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать предприятиям динамический метод определения технического состояния плунжерных пар как более точный и дающий возможность проверить плунжерную пару в зоне малых подач.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. И. Бахтиаров, В. И. Логинов. Технология обработки прецизионных пар. Машгиз, 1963. [2]. М. В. Вельяминов. Рациональные пределы плотности и оптимальная плотность плунжерных пар. Сборник научно-исследовательских работ Костромского сельскохозяйственного института «Караваяев», Кострома, 1960. [3]. И. А. Воронцов и др. Приборы для контроля и ремонта плунжерных пар. ВИНТИ, тема 24, 1959. [4]. Д. Ф. Гуревич. Влияние зазора на гидравлическую плотность плунжерных пар. Журн. «Тракторы и сельхозмашины» № 1, 1962. [5]. Г. А. Ташкинов. Исследование изнашивания плунжерных пар дизельного топливного насоса. Трение и износ в машинах, № 16, М., АН СССР, 1959. [6]. В. П. Тюкавин. Гидродинамическая неуравновешенность плунжерной пары. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 4, 1964.

Поступила в редакцию
30 августа 1965 г.

УДК 634.0.383

СЦЕПНЫЕ КАЧЕСТВА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ЦЕМЕНТО-ГРУНТА С ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКОЙ

П. В. МАТВЕЕВ, А. А. САННИКОВ, И. Г. ШКАЛЕНКО

Аспиранты

(Уральский лесотехнический институт)

Одним из показателей, характеризующих проходимость дорог, является коэффициент сцепления, зависящий от свойств и состояния поверхности покрытия, ее шероховатости, влажности и плотности; от свойств шины — изношенности рисунка протектора, эластичности, размера, давления воздуха; от скорости движения автомобилей и нагрузки их. Влияние этих факторов количественно и качественно различно.

Целью нашей работы было: а) определение изменений величины коэффициента сцепления от состояния слоя поверхностной обработки цемента-грунтовых покрытий; б) выявление влияния количественного содержания песчаных частиц на величину коэффициента сцепления; в) нахождение достоверности и связи коэффициентов сцепления, определенных разными методами (тормозного пути и динамометрирования).

Экспериментальные исследования сцепления автомобильных колес с дорогой производили в дорожных условиях на эксплуатируемой автолессовозной дороге с цемента-грунтовым покрытием (Талицкий леспромхоз комбината «Свердлес»). Грунт полотна — мелкие пески с верхним пределом пластичности 6,52—18,9; вяжущий материал — портландцемент марки 500 и 400, удовлетворяющий требованиям ГОСТа 970—61, с дозировкой 5—8% от веса сухого грунта. Для размельчения и перемешивания грунта с вяжущим применяли фрезу Д-530. Материал поверхностной обработки — битум марки А-5, БН-III, мелкие и средние пески.

Измерения выполнены с помощью динамометрического дышла, сконструированного и изготовленного в УЛТИ специально для этих целей. Динамометрическое дышло (рис. 1) состоит из динамометрического звена 3, телескопической системы, состоящей из двух труб 5 и 6, соединенных с проушинами 1 и 7. Проушинами дышло присоединяется к ведущему и исследуемому автомобилям.

Динамометрическое звено (рис. 2, а) представляет собой стальной цилиндр с наклеенными на него проволочными тензодатчиками. Датчики расположены парами равномерно по периметру цилиндра. Один датчик из каждой пары наклеен так, что витки проволоки направлены вдоль оси цилиндра, другой — перпендикулярно. Первые датчики рабочие, вторые — компенсационные [1]. В качестве рабочих и компенсационных датчиков принято по четыре проволочных тензодатчика с рабочим сопротивлением 115 Ом, базой 10 мм, расположенных по цилиндру через 90°.

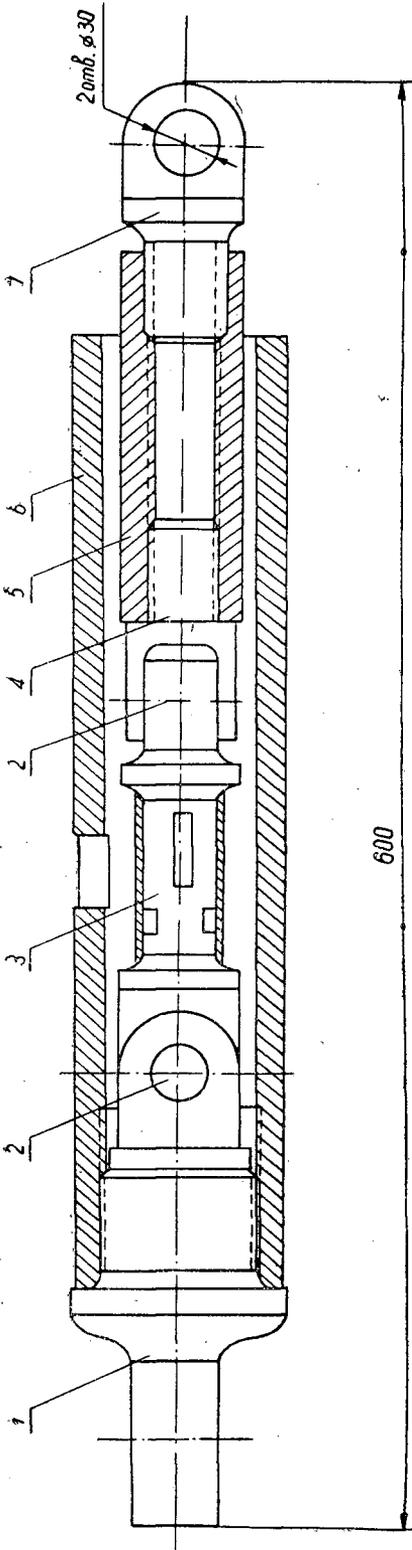


Рис. 1. Динамометрическое дышло.

1, 7 — проушины; 2 — пальцы соединительные; 3 — динамометрическое звено; 4 — переходная вилка; 5, 6 — трубы.

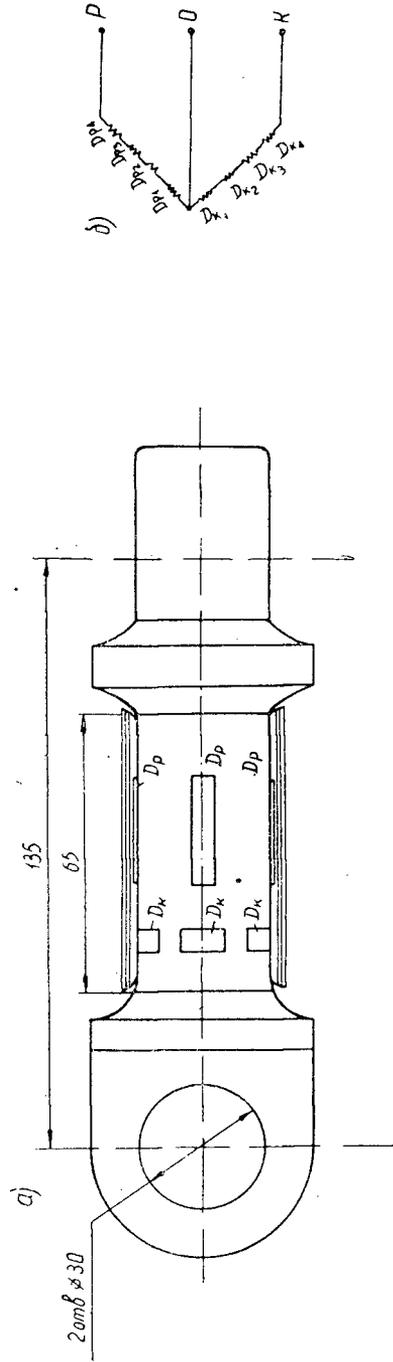


Рис. 2. Динамометрическое звено.

а — общий вид; б — схема соединения тензодатчиков; D_k — компенсационные датчики; D_p — рабочие датчики.

Схема соединения тензодатчиков показана на рис. 2, б. Динамометрическое звено имеет рабочий диаметр 30 мм. Материал его сталь 40Х с высоким пределом пропорциональности, что позволило сделать живое сечение звена малым, тем самым максимально увеличить его относительную деформацию, следовательно, повысить чувствительность звена. Звено рассчитано для измерений до 10 Т.

Для устранения наводок все датчики закрыты стальным экранирующим кожухом, а для предохранения от атмосферных влияний под экранирующим кожухом прямо на тензодатчики нанесен слой парафина и слой резины.

Примененное динамометрическое звено имеет очень небольшие габариты и вес, надежно, просто в изготовлении, дешево, практически безынерционно, что позволяет применять его для измерения как статических, так и быстро протекающих нагрузок.

В комплект применяемой аппаратуры входили: трехканальный измерительный усилитель на несущей частоте типа ЗТС-23-7; блок питания усилителя ЗБП-23,7, питаемый в свою очередь переменным током частотой 50 гц от передвижной электростанции, установленной в кузове ведущего автомобиля; отметчик времени П-104. Для регистрации усилий был использован шлейфовый осциллограф МПО-2. Рабочая схема измерительной аппаратуры приведена на рис. 3.

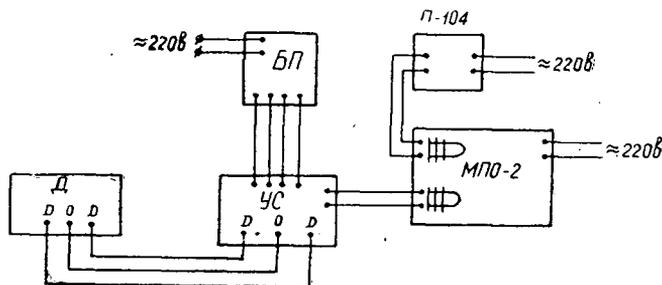


Рис. 3. Блок-схема тензометрической аппаратуры.

Д — динамометрическое звено; БП — блок питания; П-104 — отметчик времени; УС — усилитель; МПО-2 — осциллограф.

Тарировочные работы выполняли в лабораторных условиях как до начала проведения испытаний, так и после них. Тарировку тяговых динамометрических звеньев проводили нагружением на образцовом динамометре второго разряда фирмы «Морфодергаф», а тарировку всей тензометрической аппаратуры — на тарировочной балке равного сопротивления. Общая погрешность измерения с учетом дополнительных погрешностей при обработке осциллограмм составляет не более $\pm 6,0\%$.

С помощью описанного оборудования были проведены экспериментальные исследования сцепных качеств цемента-грунтовых покрытий с поверхностной обработкой. Автомобиль, на котором были размещены измерительные приборы и оборудование, следовал вместе с испытуемым. Особое внимание было обращено на тщательную регулировку тормозов, исправность и тарировку спидометров, состояние шин и давление воздуха в них.

Для измерения коэффициента сцепления покрытия выбирали по возможности прямые и горизонтальные участки дорог. Затормаживание ведущих колес и замеры силы тяги, необходимой для буксировки испытуемого автомобиля, производили в заранее установленных местах.

На каждом участке коэффициенты сцепления находили методом динамометрирования и методом торможения автомобиля с замером длины тормозного пути при различных состояниях поверхностной обработки: сухом, мокром, запыленном снегом.

При измерении сцепных качеств покрытия методом динамометрирования буксировали новый автомобиль ЗИЛ-164 с шинами 9,00-20, со скоростью 10—30 км/час.

Для определения коэффициента сцепления по методу тормозного пути использовали новый автомобиль КРАЗ-214, с новыми шинами 15,00-20; внутреннее давление в шинах заднего колеса — 3,2 кг/см², переднего — 2,8 кг/см². При скорости начала торможения 30 км/час выполнено около 100 измерений.

При обработке результатов измерений на каждой осциллограмме находили величину тормозного усилия, соответствующую полностью затормаживанию колес автомобиля, а максимальную величину сцепления в виде «пика» в начале и конце осциллограммы не учитывали, то есть для вычисления коэффициента сцепления принимали среднюю величину амплитуды осциллограммы между «пиками» начала и конца торможения.

Таким образом, коэффициент сцепления определяли через силу тяги на крюке автомобиля [2] с заторможенными ведущими колесами при установившемся движении, что исключало возможные ошибки, обусловленные инерционными явлениями.

В результате испытаний получены значения коэффициентов сцепления на различных участках дороги с разным состоянием поверхностной обработки.

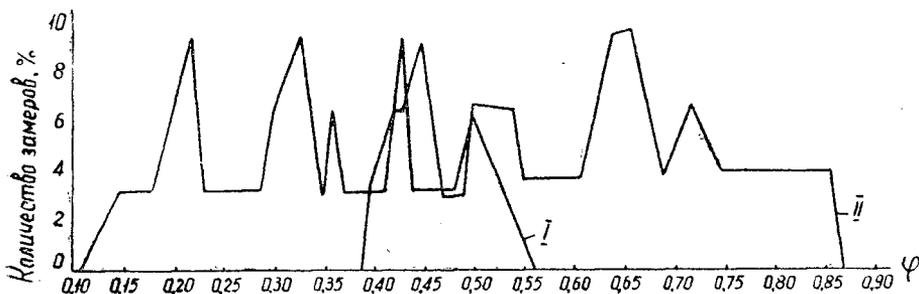


Рис. 4. График распределения значений коэффициента сцепления ϕ .

I — на мокром покрытии; II — на сухом покрытии.

Сравнение полученных коэффициентов сцепления позволяет утверждать, что участки дорог с мокрой поверхностной обработкой имеют наиболее низкие сцепные качества. Из рис. 4 видно, что коэффициент сцепления на мокрых участках дорог колеблется в пределах от 0,11 до 0,56, а на сухих — от 0,38 до 0,87. Наименьшие значения коэффициентов сцепления ($\phi_m = 0,11—0,30$) отмечены на участках дорог с мокрой поверхностной обработкой — 31,2% от всех замеров; наибольшие значения $\phi_s = 0,50—0,87$) на сухих участках — 68,7%. На покрытиях с новой поверхностной обработкой наблюдается повышение коэффициента сцепления. Измерениями установлено, что на участках дорог с мокрой поверхностной обработкой, где в результате скольжения и заноса автомобилей были аварии, коэффициент сцепления имел значения 0,11—0,30.

Аварийные случаи заноса автомобилей чаще наблюдались на крутых подъемах и спусках, на участках дорог с шириной проезжей части 3,5 м, поперечным уклоном 60‰.

На одиннадцати участках дорог определены средние коэффициенты сцепления в зависимости от содержания песчаных частиц (рис. 5). Из рисунка видно, что с увеличением содержания песчаных частиц коэффициент сцепления увеличивается. При содержании песчаных частиц 40% и менее наблюдается резкое снижение коэффициента сцепления, особенно на мокрых участках дороги (участки 6, 10, рис. 5). Движение транс-

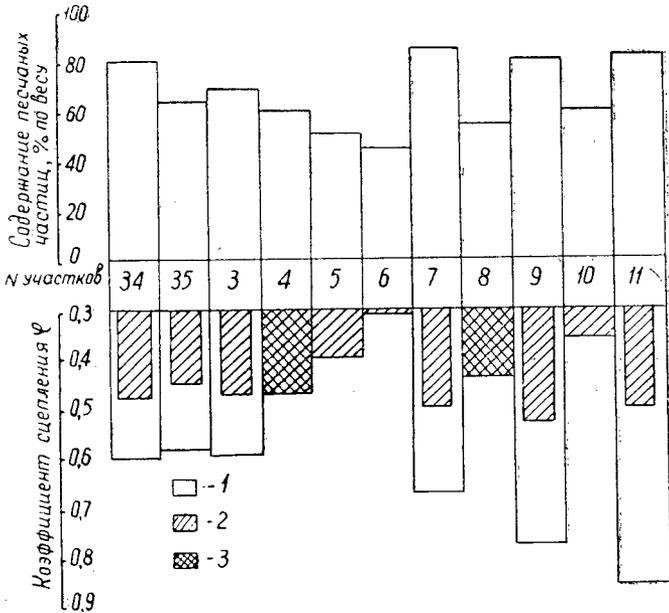


Рис. 5. Зависимость коэффициента сцепления от содержания песчаных частиц.

1 — покрытие сухое; 2 — покрытие мокрое; 3 — покрытие, запорошенное снегом.

порта на участках 6, 10 резко ухудшалось, и опасность аварий возрастала. Из рис. 5 видно, что коэффициент сцепления колеблется в зависимости от содержания песчаных частиц: на сухой поверхностной обработке от 0,58 до 0,86; на мокрой — от 0,3 до 0,53; на участке, запорошенном снегом, — от 0,44 до 0,47.

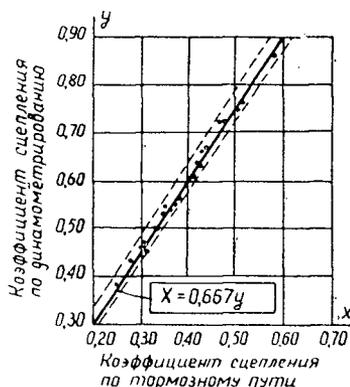
Исследования показали, что коэффициенты сцепления, определенные по методу тормозного пути, в среднем на 50% больше, чем полученные методом динамометрирования.

Статистическая обработка результатов измерений показала близкую прямолинейную корреляционную зависимость между коэффициентами сцепления, полученными двумя методами (коэффициент корреляции 0,98). Из рис. 6 видно, что линейная корреляционная зависимость при скорости начала торможения 30 км/час может быть выражена уравнением

$$x = 0,667 y,$$

где x — коэффициент сцепления по методу тормозного пути;
 y — коэффициент сцепления, определенный по методу динамометрирования.

Рис. 6. График корреляционной зависимости коэффициентов сцепления, определенных по методам тормозного пути и динамометрирования (при скорости 30 км/час).



Данные исследований позволяют сделать вывод, что поверхностная обработка, выполненная на цемента-грунтовых покрытиях с содержанием 40% песчаных частиц, в мокром состоянии имеет коэффициент сцепления 0,3 и менее. Такие участки дорог являются потенциально опасными и требуют проведения профилактических мероприятий по улучшению их сцепных качеств и в первую очередь на крутых подъемах и спусках, кривых малых радиусов и в местах с ограниченной видимостью.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. М. А. Бухарин, В. К. Голяк. Испытания автомобиля с использованием электрических методов измерения. Машгиз, 1955. [2]. В. И. Кнороз, И. П. Петроз, А. С. Шелухин. Оценка сцепления колеса с опорной поверхностью Журн. «Автомобильная промышленность» № 4, 1961.

Поступила в редакцию
26 мая 1965 г.

УДК 634.0.383.7

**СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ УЗКОКОЛЕЙНОЙ РЕЛЬСО-ШПАЛЬНОЙ
РЕШЕТКИ ПОПЕРЕЧНОМУ ИЗГИБУ*****В. А. ЛАПТЕВ**

Аспирант

(Московский лесотехнический институт)

Как известно, устойчивость температурно-напряженного пути определяется рядом силовых факторов, одним из которых является противодействие рельсо-шпальной решетки поперечному изгибу.

Сопrotивляемость этой деформации чаще всего определяется специальным термином — жесткость рельсо-шпальной решетки, которая равна произведению приведенного момента инерции на модуль упругости рельсовой стали.

Значения приведенного момента инерции в зависимости от прогиба путевой решетки оказались переменными величинами.

Вопросами определения приведенного момента инерции для дорог узкой колеи занимался и Московский лесотехнический институт. Результаты первых опытов по этому вопросу опубликованы в работе Б. И. Кувалдина [2]. В последующем на путепыкательных полигонах МЛТИ при лесокомбинате «Осмолода» (Украинская ССР) и в Пайском леспромхозе КАССР автор провел опыты, которые имели целью выявить характер сопротивления рельсо-шпальной решетки поперечному изгибу при изменении величины деформации с определением реактивных моментов сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки.

Все современные методы расчета железнодорожного пути на устойчивость предусматривают использование реактивных моментов сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки, которые определяют методом поворота отрезка рельса относительно шпалы (считая, что при этом возникает момент сопротивления). Однако в реальных условиях при поперечном изгибе рельсо-шпальной решетки картина возникновения реактивных моментов несколько иная, и на них влияет не только противодействие промежуточных креплений повороту рельса, но и усилие противодействия протаскиванию рельса сквозь шпальные прикрепители при прогибе решетки. Кроме того, на характер изменения реактивного момента сопротивления влияет и относительный поворот шпал, который вызывается возникающим реактивным моментом сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки. Поэтому определяя реактивный момент, следует применить такую методику, которая позволила бы определять величину и характер изменения последнего с учетом этих факторов. Это

* Работа выполнена под руководством доцента, канд. технических наук Б. И. Кувалдина.

может быть достигнуто путем прогиба рельсо-шпальной решетки с вычислением аналитическим путем реактивных моментов сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки.

Необходимо установить функциональную зависимость между изгибающим усилием рельсо-шпальной решетки и величиной реактивного момента сопротивления, определяемого реальными условиями работы пути при продольно-поперечном изгибе. Для вывода этой формулы мы применили метод сравнения величин внутренней и внешней работ.

Напишем уравнение равенства работ при изгибе путевой решетки поперечной силой

$$A_{p.p} = A_{2p} + A_m, \quad (1)$$

где $A_{p.p}$ — работа, совершаемая поперечной силой при изгибе рельсо-шпальной решетки;

A_{2p} — работа внутренних сил при изгибе двух рельсов;

A_m — работа, затрачиваемая на преодоление реактивных моментов сопротивлений в узлах рельсо-шпальной решетки.

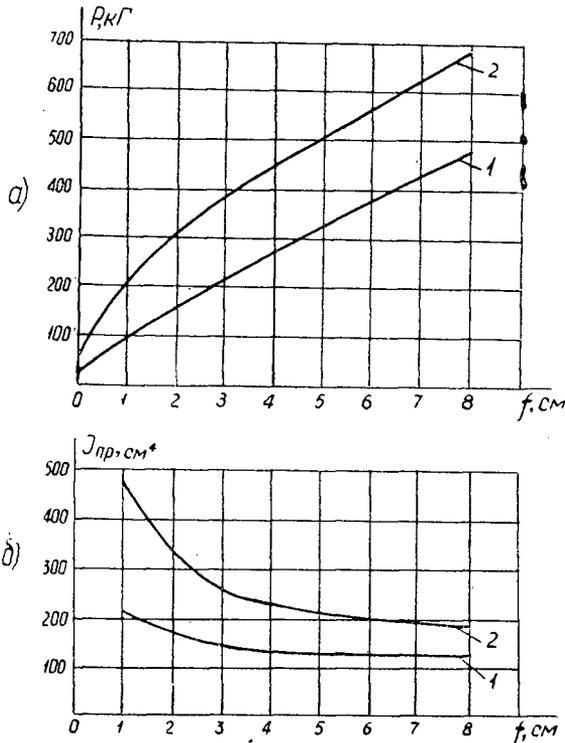


Рис. 1. а — зависимость между изгибающим усилием и прогибом; б — зависимость между приведенным моментом инерции и прогибом.

1 — путевая решетка без балласта в шпальных ящиках;
2 — путевая решетка с балластом в шпальных ящиках.

Как показали опыты (рис. 1), зависимость между изгибающей силой и прогибом рельсового звена может быть выражена формулой

$$P = B + P_0 f^n, \quad (2)$$

где B — начальное сопротивление рельсо-шпальной решетки поперечному изгибу, $\kappa\Gamma$;

P_0 — сопротивление изгибу рельсо-шпальной решетки сверх B при ее прогибе на единицу измерения функции, $\kappa\Gamma/\text{см}^n$

Работа внешних сил при изгибе рельсо-шпальной решетки определяется площадью, ограниченной сверху кривой зависимости между изгибающим усилием и деформацией. Эта площадь выражается интегралом

$$A_n = \int_0^f (B_0 + P_0 f^n) df, \quad (3)$$

а работа внутренних сил при изгибе двух рельсов для обеих полуволн искривления определяется по известной формуле

$$A_{20} = EI_{2p} \int_0^{l/2} (y'')^2 dx. \quad (4)$$

Как показали экспериментальные исследования, проведенные автором, реактивный момент сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки изменяется по закону

$$M_p = M_0 + m_0 \beta^k. \quad (5)$$

В этом случае работа реактивных моментов при изгибе рельсового звена определяется для обеих рельсовых нитей и полуволн искривления

$$A_m = 4 \int_0^{l/2} \int_0^\beta M_0 d\beta dx + \frac{4m_0}{a(k+1)} \int_0^{l/2} \beta^{k+1} d\beta dx, \quad (6)$$

где M_0 — начальный реактивный момент сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки, $\kappa\Gamma\text{см}$;

m_0 — реактивный момент сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки сверх M_0 , возникающий при повороте рельса относительно шпалы на единицу изменения аргумента функции, $\kappa\Gamma\text{см}/\text{рад}^k$;

β — угол поворота рельса относительно шпалы при изгибе путевой решетки, рад ;

a — расстояние между шпалами, см ;

k — коэффициент крутости кривой функции реактивного момента.

Поскольку речь идет о сравнительных исследованиях, то для упрощения задачи кривую изгиба можно принять за синусоиду

$$y = f \sin \frac{\pi x}{l}. \quad (7)$$

Из уравнений (1), (2), (3), (4) и (6) после некоторых преобразований можно получить формулу

$$B_1 \cdot \frac{a}{4} + \frac{P_0 f^n}{n+1} \cdot \frac{a}{\varepsilon_1} - B f \frac{a}{\varepsilon_1} = m_0 \beta^k + M_0 = M_p. \quad (8)$$

При $B_1 = 0$

$$\frac{P_0 f^n}{n+1} \cdot \frac{a}{\varepsilon_1} - B f \frac{a}{\varepsilon_1} = M_p, \quad (9)$$

где M_p — реактивный момент сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки, $\kappa\Gamma\text{см}$;

ε_1 — постоянная величина, полученная при интегрировании;

B — постоянная жесткости рельсов, кг/см ;

$$B = \frac{EI_{2p}\pi^4}{4l^3},$$

I_{2p} — момент инерции двух рельсов относительно вертикальной оси, см^4 ;

l — длина искривления, см .

Левая часть формулы (9) состоит из двух членов. Первый представляет собой параболу, а второй — уравнение прямой линии. Реактивный момент сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки равен разности между ординатами этих двух кривых. На рис. 2 изображен пример графического способа нахождения реактивного момента сопротивления.

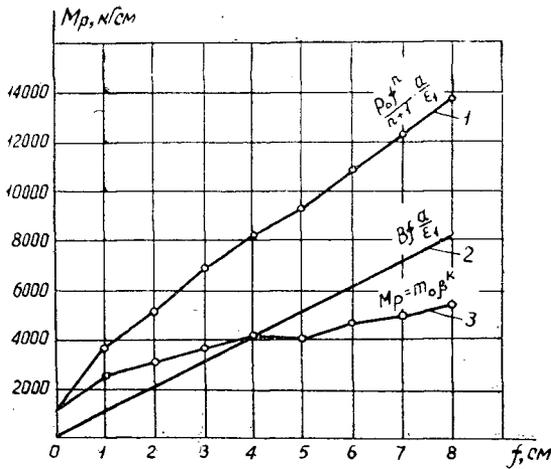


Рис. 2. Графический метод расчета реактивного момента сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки.

1 — член уравнения, представляющий собой параболу;
2 — член уравнения, представляющий собой прямую
линию; 3 — реактивный момент сопротивления
в узлах рельсо-шпальной решетки.

Из уравнения (8) можно видеть, что если между прогибом и изгибающей силой имеет место линейная зависимость, то функция реактивного момента также будет линейна. И второе: приведенный момент инерции нельзя использовать для определения величины реактивного момента сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки, если функция реактивного момента не линейна.

В наших опытах реактивный момент мы определяли двумя методами. Первый состоял в том, что рельсовое звено изгибали в горизонтальной плоскости, регистрируя величину изгибающего усилия и стрелы прогиба с последующим вычислением аналитическим путем реактивных моментов сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки.

Второй метод заключался в том, что отрезок рельса, пришитый костылями, поворачивали относительно шпалы на специальном стенде, при этом регистрировали усилие и углы поворота.

Как известно, на путях узкой колеи обычно применяют простейшее костыльное крепление рельсов к шпалам без подкладки. В процессе изгиба рельсо-шпальной решетки эти крепежители, отжимаясь, создают реактивный момент сопротивления. Но вследствие того, что в каждом

узле узкоколейной рельсо-шпальной решетки только два костыля, реактивный момент образуется на половине общего количества узлов. Узлы, в которых костыли отжимаются, создавая реактивный момент сопротивления, мы будем называть рабочими, а узлы, в которых не образуется реактивных моментов — нерабочими. Рабочие узлы рельсо-шпальной решетки, создавая момент сопротивления, заставляют противоположный конец шпалы поворачиваться относительно рабочего узла, уменьшая тем самым величину отжима костылей, а это немедленно сказывается на величине реактивного момента сопротивления, так как отжим костылей связан определенной зависимостью с усилием отжима [1].

В целях приближения расчетной схемы к действительной были проведены опыты по изгибу путевой рамы, у которой в шпальных ящиках балласт присутствовал, противодействуя повороту и продольному перемещению шпал при изгибе рельсо-шпальной решетки. Для исключения влияния трения балласта о боковые поверхности шпал между балластом и шпалами устраивали перегородку, которая контактировала со шпалами через роликовые подшипники. В результате того, что балласт противодействовал повороту шпал, отжим костылей увеличился. В процессе проведения экспериментальных работ индикаторами часового типа, установленными на шпале, было зарегистрировано перемещение рельса относительно шпал вдоль оси пути. Это явление вызвано тем, что поворот рельса при изгибе звена, вызывая отжим костылей, защемляет путевой рельс, плотно сцепляя его со шпалами. Поэтому при деформации рельсо-шпальной решетки в горизонтальной плоскости шпалы стремятся переместиться вдоль оси пути, однако балласт, находящийся в шпальных ящиках, противодействует этому перемещению, заставляя рельсы протаскиваться между отжатыми шпальными прикрепителями, вызывая дополнительное усилие в узле рельсо-шпальной решетки. Эти факторы, возникшие при деформации путевой рамы, немедленно отразились на величине и характере изменения реактивных моментов сопротивления. Наличие протаскивания рельсов между прикрепителями обусловило возникновение начального реактивного момента сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки.

При изгибе решетки без балласта в шпальных ящиках реактивный момент сопротивления имеет удовлетворительную сходимость с реактивным моментом сопротивления, полученным методом поворота рельса относительно шпалы, а присутствие балласта увеличивает значение реактивного момента более чем в два раза.

Испытания на специальном стенде позволили произвести сравнение сопротивляемости поперечному изгибу рельсо-шпальных решеток различных конструктивных решений. Однако поскольку условия действующего пути в значительной мере отличаются от условий, в которых находится рельсо-шпальная решетка на стенде (различная плотность балла-

Таблица 1

Прогиб звена, см	M_p в действующем пути, кгсм	M_p на стенде, кгсм
1	2300	1320
2	2600	1500
3	3150	1854
4	2840	2010
5	3150	2110
6	3200	2300
7	3420	2515
8	3260	2680

ста в шпальных ящиках, разнотипные костыли), то представляет значительный интерес определить величину реактивного момента сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки на действующих путях ужд. В табл. 1 показаны результаты этих опытов. Из этой таблицы видно, что сопротивляемость путевой решетки, находящейся на действующем пути, значительно выше, чем сопротивляемость такой же решетки, испытываемой на стенде, что объясняется более плотным балластом действующего пути.

В настоящее время в практику железных дорог все шире внедряются пружинные промежуточные скрепления. Благодаря их применению срок службы шпал значительно увеличивается. Пружинные скрепления обеспечивают постоянное плотное прижатие рельсов к шпалам, чего не может обеспечить костыльное скрепление. На узкоколейных железнодорожных путях они пока еще не нашли применения, однако, учитывая развитие технического прогресса, представляло значительный интерес выяснить, какой реактивный момент сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки развивают скрепления такого типа. Были испытаны *ML*, скобы «Макбет» и пружинные костыли. Все они были изготовлены в условиях мастерских Пайского леспромхоза треста «Южкареллес». На рис. 3 изображены графики зависимостей реактивного момента сопротив-

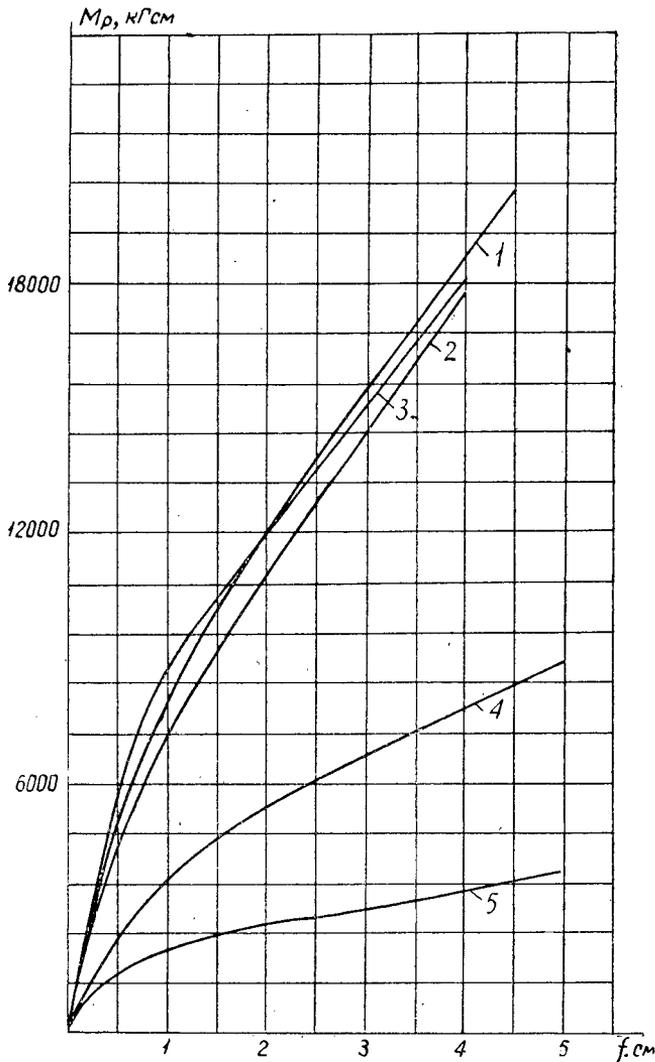


Рис. 3. Графики зависимостей между моментом сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки и прогибом.

1 — скобы «Макбет»; 2 — путь, представляющий собой плоскую ферму в плане; 3 — путь с распорками (костыли добыты); 4 — путь с распорками (костыли наддернуты); 5 — пружинные костыли.

ления от прогиба путевой решетки. Из этого графика видно, что развитию наибольшего реактивного момента способствует скрепление типа «Макбет».

Кроме того, была испытана рельсо-шпальная решетка, имеющая в плане вид плоской фермы, у которой поясами служили рельсы, а стойками — шпалы. Результаты опытов представлены на рис. 3.

В процессе проведения экспериментальных работ мы задались целью найти такую конструкцию рельсо-шпальной решетки, которая не требовала бы больших материальных затрат для ее устройства и отвечала следующим требованиям: имела наибольшее сопротивление изгибу в поперечном направлении; не вызывала затруднений при ремонте и эксплуатации пути; имела наименьшую металлоемкость и облегчала бы температурную работу рельсов.

Такая конструкция была найдена в процессе проведения экспериментальных работ. По предложению Б. И. Кувалдина был испытан узкоколейный путь с распорками в шпальных ящиках.

Эта конструкция представляет собой обычную рельсо-шпальную решетку с плотно установленными распорками под обеими нитками рельсов.

При устройстве температурно-напряженного пути и сварке рельсов ванным способом на путях ужд Пайского леспромхоза Карельской АССР и на путях лесокомбината «Осмолода» треста «Прикарпатлес» приваривали противоугоны из отрезков старых рельсов, которые после сварки составляют одно целое со стыком. Механические испытания такого стыка показали, что приварка противоугона не уменьшает прочности сварного стыка, а даже несколько ее увеличивает.

Сопротивляемость поперечному изгибу путевой решетки с распорками в шпальных ящиках довольно высока, даже если костыли не прижимают рельсы к шпалам. На рис. 3 показана зависимость между реактивным моментом сопротивления в узлах рельсо-шпальной решетки и величиной деформации последней.

В настоящее время на станционных путях лесокомбината «Осмолода» уложена плеть длиной 280 м, имеющая описанную конструкцию.

Обследование такого пути, проведенное в октябре 1964 г. автором совместно с работниками Пайского леспромхоза и представителем комбината «Южкареллес», показало, что путь устойчив, несмотря на довольно высокую температуру воздуха (+ 35° С). Применение распорок совместно с приварными противоугонами закрепило путь от угона; ремонт такого пути затруднений не вызывает. Случаев разрыва стыка в зимний период не было, несмотря на понижение температуры до — 40° С.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Б. И. Кувалдин. Новые исследования сопротивления рельсовых прикрепителей узкоколейных дорог отжимающим и выдергивающим усилиями. Сборник научно-технической информации № 16, МЛТИ, М., 1956. [2]. Б. И. Кувалдин. Применение сварных длинномерных рельсов на лесовозных узкоколейных железных дорогах. Гослесбумиздат, М., 1963.

Поступила в редакцию
23 июля 1965 г.

УДК 634.0.378.7

К ВОПРОСУ О КРЕПЛЕНИИ РУСЛА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ЛЕСОСПЛАВНЫХ ПЛОТИН

А. Д. ТИТОВА

Старший преподаватель

(Поволжский лесотехнический институт)

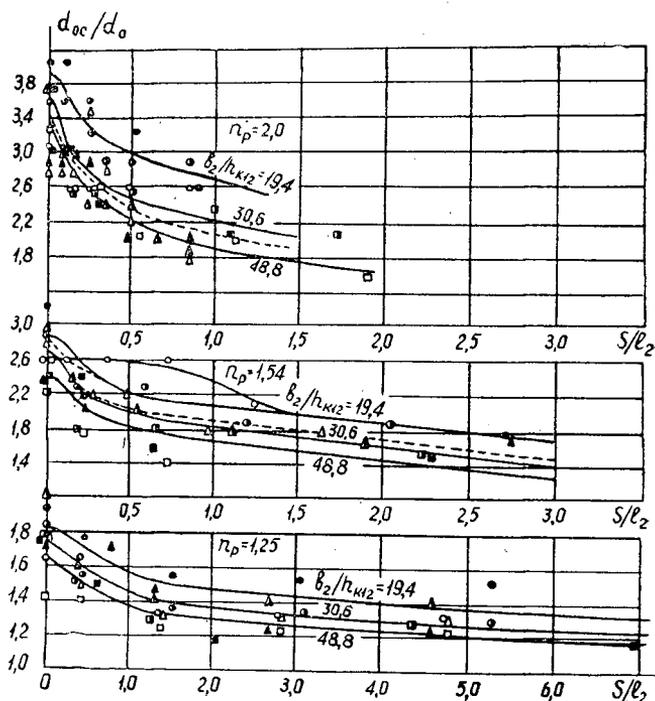
Для изучения условий работы сливной части лесосплавных плотин и, в частности, рисбермы мы провели исследования размывающей способности потока, выходящего из отверстия плотины в нижний бьеф. Размывающую способность оценивали по методу, предложенному А. Н. Рахмановым, крупностью зерен несвязных материалов: гравия, гальки и крупного песка с удельным весом $\gamma_r = 2,6$, помещенных на уровне дна русла и находящихся в состоянии предельного равновесия их сдвигу.

Для исследований использовали пространственную модель лесосплавной плотины с внезапным двусторонним симметричным расширением русла нижнего бьефа. Степень расширения потока при выходе в нижний бьеф n_p принимали равной 1,25; 1,54 и 2,0 (соответственно $1/n_p = 0,80; 0,65; 0,50$). Отводящее русло шероховатое, прямоугольное, горизонтальное и прямолинейное в плане длиной около 8 м и шириной 2 м. Флютбет плотины горизонтальный без возвышения над дном реки.

В случае сброса расходов через один достаточно широкий и полностью открытый пролет плотины (когда промежуточных опор нет) при сопряжении бьефов по типу затопленного водослива с широким порогом (глубина нижнего бьефа $h_2 = 1,5 h_{к1_2}; 1,9 h_{к1_2}$ и $2,5 h_{к1_2}^*$) наибольшую размывающую способность поток имеет вблизи границ с водоворотными областями, где на размывающую способность потока большое влияние оказывает пульсация скоростей течения [2].

В центральной части транзитный поток имеет меньшую турбулентность, чем вблизи границ с водоворотными областями, и критические диаметры зерен грунта здесь имеют меньшую величину, хотя продольные скорости течения не меньше, чем в местах максимальных критических диаметров. Для многих режимов транзитный поток в средней части имеет турбулентность, близкую к турбулентности плавно изменяющегося потока, особенно на начальном участке его растекания, но затем увеличивающуюся вниз по течению и достигающую максимума в конце малой водоворотной области; здесь мгновенные скорости на 15—20% отличаются от осредненных во времени местных скоростей, в то время как в начале расширения потока это различие в скоростях не превышает 2%. Поэтому мы нашли возможным сопоставить осевые критические

* Здесь $h_{к1_2}$ — критическая глубина в нижнем бьефе (индекс 2), вычисленная при $\alpha = 1,0$ (индекс 1).



Условные обозначения

$b_2/h_{к12}$	$n_2/n_{к12}$		
	1,5	1,9	2,5
19,4	○	⊙	●
30,6	△	▲	■
48,8	□	▪	■

Рис. 1. Размывающая способность транзитного потока в его центральной части.

диаметры d_{oc} (в центральной части потока) с критическими диаметрами d_o для условий открытого плавно изменяющегося не стесненного сооружения потока при одинаковых средних скоростях течения и глубинах открытого плавно изменяющегося потока и нижнего бьефа ниже конца водоворотного участка.

Данные о величинах изменения d_{oc}/d_o при исследованных расходах, отвечающих значениями параметра $b_2/h_{к12} = 19,4; 30,6$ и $48,8$, и глубинах нижнего бьефа $h_2/h_{к12} = 1,5; 9; 2,5$ приведены на рис. 1 в функции от длины водоворотного участка расширения S/l_2 (здесь S — расстояние от конца водобоя до рассматриваемого сечения, l_2 — длина большой водоворотной области). Значения же критических диаметров, полученных нами для условий плавно изменяющегося потока, даны на рис. 2 в виде графиков $d_o = f(v)$ при различных глубинах потока h .

Из рассмотренных данных на рис. 1 видно, что на величину критических диаметров d_{oc} оказывают влияние степень расширения потока, расход и глубина, причем более явно и определенно влияние степени расширения и расхода — с повышением их размывающая способность потока имеет тенденцию увеличиваться. Поэтому графические зависимости, приведенные на рис. 1, учитывают это влияние, от учета же пара-

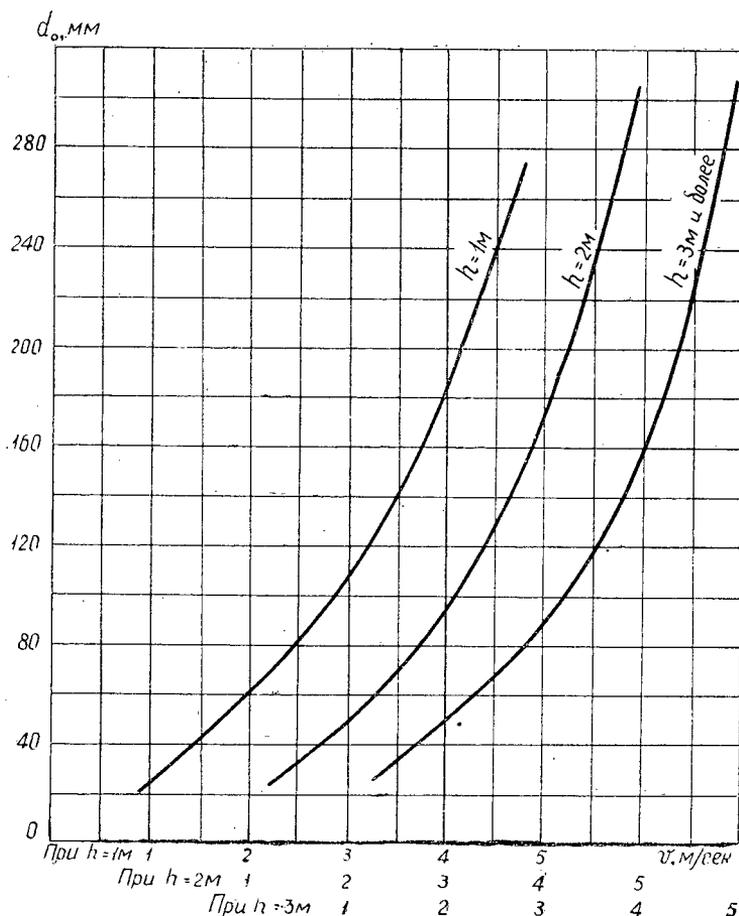
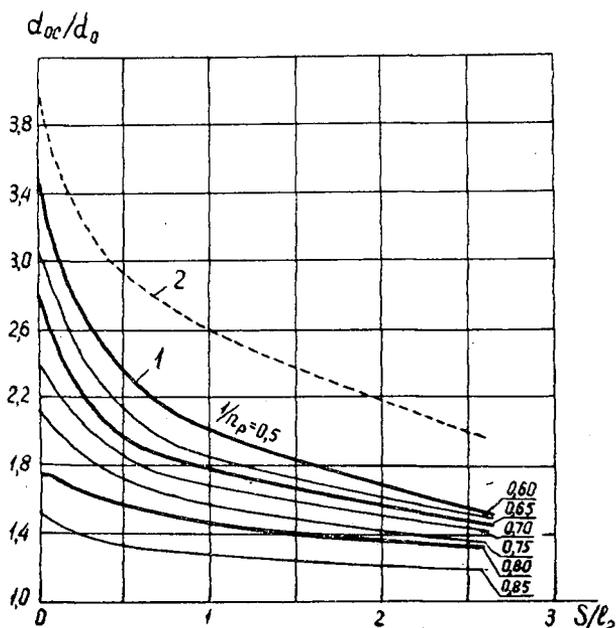


Рис. 2.

метра $h_2/h_{к1_2}$ мы считаем возможным отказаться. Однако для каждой степени расширения потока с достаточной точностью можно принять и общие кривые изменения d_{oc}/d_o , осредняющие подавляющее большинство точек. Такие графические зависимости изменения размывающей способности потока как для исследованных степеней расширения потока, так и для промежуточных приведены на рис. 3. Эти кривые при значениях $n_p < 2,0$ соответствуют размывающей способности потока для расхода, отвечающего параметру $b_2/h_{к1_2} \approx 30$; при увеличении или уменьшении расхода вдвое значения d_{oc}/d_o должны соответственно повышаться или понижаться на 10—15%. Для наибольшей из рассмотренных степеней расширения потока $n_p = 2,0$ даны две кривые: кривая 1 — общая для расходов, отвечающих значениям параметра $b_2/h_{к1_2} = 30,6; 48,8$, и кривая 2 — для расходов при $b_2/h_{к1_2} = 19,4$, поскольку осреднение всех режимов для этой схемы дало бы большое отклонение части опытных данных от средних. Графические зависимости изменения размывающей способности в центральной части потока $d_{oc}/d_o = f(S/l_2)$, данные на рис. 3, отвечают эмпирическим зависимостям вида

$$d_{oc}/d_o = \frac{a}{(S/l_2)^m}, \quad (1)$$

Рис. 3. Графические зависимости $d_{oc}/d_0 = f(S/l_2)$.

где параметр a и показатель степени m зависят от степени расширения потока и могут быть определены по эмпирическим зависимостям

$$a = -2,54 \left(\frac{1}{n_p}\right)^2 + 1,42 \frac{1}{n_p} + 1,91; \quad (2)$$

$$m = -0,268 \left(\frac{1}{n_p}\right)^2 - 0,073 \frac{1}{n_p} + 0,32. \quad (3)$$

Значения d_{oc}/d_0 , вычисленные по зависимости (1), дают достаточную точность при $S/l_2 > 0,05$; при $S/l_2 < 0,05$ значения d_{oc}/d_0 можно считать такими же, как и при $S/l_2 = 0,05$.

Критические диаметры вблизи границ транзитного потока с водоворотными областями больше критических диаметров в центральной части потока и максимум этого превышения достигает 2; 1,5 и 1,25 раза по сравнению с d_{oc} соответственно при расходах для $b_2/h_{к1_2} = 19,4; 30,6; 48,8$ и имеет место на расстоянии, равном 0,4—0,6 длины малой и большой водоворотной области. При этом соотношения между критическими диаметрами вдоль границ с водоворотными областями и осевыми диаметрами почти одинаковы для всех степеней расширения потока и зависят лишь от расхода и глубины нижнего бьефа — повышаются с увеличением расхода и глубины.

В случаях несимметричного расширения потока, которое наблюдалось почти при всех режимах для степеней расширения $n_p \geq 1,5$, повышенная размывающая способность потока вблизи границы с малой водоворотной областью имеет место не только на протяжении длины малой водоворотной области, но и ниже по течению ее конца еще на расстоянии, равном половине длины этой области. К концу большой водоворотной области граничные критические диаметры выравниваются с осевыми или становятся меньше их.

При наличии в отверстии плотины промежуточной опоры (одной или нескольких) условия работы сливной части плотин ухудшаются. За задней стенкой промежуточной опоры (быка) образуется водоворотная зона, характеризующаяся постепенно возрастающей размывающей способностью вдоль по течению и достигающей максимума в удалении от конца быка, равном 4—5-кратной ширине его. Размывающая способность потока в этой зоне является максимальной для всего участка расширения потока и на 25—50% превышает размывающую способность вблизи границ транзитного потока с водоворотными областями. На величине же размывающей способности потока вдоль его границ с водоворотными областями наличие промежуточных опор почти не отражается: критические диаметры зерен грунта здесь такие же, как и в случае сброса расходов через один широкий пролет плотины.

Размывающая способность в центральной части каждого из потоков, выходящих из пролетов плотины, разделенных промежуточной опорой, увеличивается по сравнению с размывающей способностью потока, сбрасываемого через один пролет, в среднем в 1,5 раза (при одинаковых удельных расходах и глубинах нижнего бьефа). Это превышение сохраняется лишь на начальном участке расширения потока длиной (3—4,5) Δb , где величина расширения Δb равна разности ширины русла нижнего бьефа b_2 и ширины отверстия плотины b_1 , то есть $\Delta b = b_2 - b_1$.

Мы не выявляли влияния промежуточных стоек на размывающую способность потока, однако их наличие способствует большей турбулизации потока и аналогично влиянию промежуточных опор повышает размывающую способность потока, хотя и в значительно меньшей мере, что может быть учтено коэффициентом запаса 1,1—1,15.

В практике эксплуатации лесосплавных плотин встречаются случаи сосредоточенного сброса расходов на узком участке сооружения. Размывающая способность потока при истечении через один пролет при полностью закрытом втором в 1,3—1,5 раза больше размывающей способности потока с двойным расходом, сбрасываемым через оба полностью открытых пролета.

Еще более тяжелые условия работы сливной части плотин будут в случае перелива воды через щиты или шандоры. Сопоставительные опыты, проведенные нами для условий сопряжения бьефа по типу затопленного гидравлического прыжка, не выходящего за пределы устоев, показывают, что даже при сравнительно небольшой высоте рядов щитов или шандоров от 0,3 до 1,25 м осевые критические диаметры увеличиваются соответственно в 1,1—3,5 раза по сравнению с диаметрами по схеме пропуска расходов через один широкий пролет при прочих равных условиях и выравниваются с последними на расстоянии соответственно от 3 Δb до 7 Δb . Вблизи границ транзитного потока с водоворотными областями также наблюдается увеличение размывающей способности по сравнению с сопоставляемым случаем на 25—50%, но только на начальном участке растекания потока длиной (0,5—1,0) Δb .

Приведенные данные о размывающей способности потока могут быть использованы при назначении крупности каменных набросных рисберм, а также приняты во внимание при проектировании других видов рисберм.

При назначении крупности каменных набросных рисберм в случае неширокого русла реки, по-видимому, нет надобности в устройстве дифференцированного по ширине крепления, и крупность наброски должна назначаться в соответствии с величиной максимальной размывающей способности, или же, в противном случае, вблизи границ

транзитного потока с водоворотными областями следует делать более усиленную рисберму хотя бы путем отбора камня или же устройством крепления другого более прочного типа. Ширина этих полос может быть принята равной не менее $0,2b_1$ (b_1 — ширина отверстия в свету) в сторону транзитного потока от раздельной линии. Форма транзитного потока при пропуске расходов через один широкий пролет плотины [3] может быть получена по уравнению

$$\frac{\delta\omega}{\Delta\omega} = \frac{S/l_2}{3,5 - 2,5S/l_2}, \quad (4)$$

где $\delta\omega$ — приращение живого сечения к данному створу по сравнению с начальным ω_1 , то есть $\delta\omega = \omega - \omega_1$;

$\Delta\omega$ — величина расширения потока к концу водоворотного участка, $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$.

Длина водоворотного участка потока l_2 , зависящая от степени расширения потока, расхода и глубины нижнего бьефа, в среднем составляет

$$\text{при } n_p = 2,0 \quad l_2 \approx 1,1H \cdot b_3/h_{к1_2} \approx 6\Delta b^*;$$

$$\text{при } n_p = 1,54 \quad l_2 \approx 0,6H \cdot b_3/h_{к1_2} \approx 4\Delta b;$$

$$\text{при } n_p = 1,25 \quad l_2 \approx 0,2H \cdot b_3/h_{к1_2} \approx 2,5\Delta b.$$

Эти данные о длинах водоворотных участков были получены при одной шероховатости русла, отвечающей средним условиям сплавных рек и характеризующейся значениями скоростного множителя $C \approx 35$.

Действующими в настоящее время техническими условиями проектирования лесосплавных предприятий (1957 г.) рекомендуется определять длину водоворотного участка потока в нижнем бьефе плотины по формуле

$$l_2 = 7,5\Delta b.$$

Однако эта формула является весьма общей и приемлема лишь для определенных условий. Опираясь на результаты исследований А. Н. Рахманова [1], можно считать, что рекомендуемая техническими условиями длина водоворотного участка может иметь место только для условий сравнительно гладких русел ($C \approx 50$) и при достаточно больших степенях расширения русла $n_p > 2 \div 3$; при этом оба условия не являются характерными для большинства сплавных рек и гидросооружений, возводимых на них.

При выборе длины рисберм лесосплавных плотин следует считаться с тем, что невозможно снизить размывающую способность потока до величины, отвечающей плавно изменяющемуся потоку. Исследования показывают, что даже в конце водоворотного участка потока, где средняя скорость его равна бытовой, поток имеет размывающую способность, значительно превосходящую способность плавно изменяющегося потока вследствие повышенной турбулентности потока нижнего бьефа, сохраняющейся еще на значительном расстоянии ниже конца водоворотного участка. Это превышение по оси потока в среднем составляет: 120% при $n_p = 2,0$; 80% при $n_p = 1,54$ и 50% при $n_p = 1,25$.

Конечно, желательно, чтобы длина крепления была не менее длины водоворотного участка, однако в этом случае она может получиться

* H — напор на пороге плотины.

весьма значительной. Только при сравнительно небольших степенях расширения потока $n_p < 1,5$ обычно рекомендуемая длина крепления (слив с рисбермой) для плотин на мягких основаниях ($7 \div 10$) H отвечает длине водоворотного участка. При больших степенях расширения потока длина водоворотного участка в два и даже в три раза превышает рекомендуемую длину крепления русла.

Поскольку устройство очень длинных рисберм экономически нецелесообразно, то надо считаться с неизбежностью размывов русла за креплением, однако эти размывы не должны угрожать целостности сооружения. Поэтому рациональными являются лишь короткие прочные рисбермы, оканчивающиеся различными устройствами, ограничивающими размыв (зубом, шпорой, призмой из наброски, ковшом). Примеры таких конструкций рисберм частично нашли отражение в альбоме конструкций лесосплавных плотин [4], однако и здесь, так же как и в технических условиях проектирования лесосплавных предприятий, нет каких-либо конкретных указаний о длине крепления.

Для выбора длины прочной короткой рисбермы могут быть использованы наши данные об интенсивности изменения размывающей способности вдоль потока (рис. 1 и 3). Конец такой рисбермы не должен устраиваться в пределах очень интенсивного падения размывающей способности потока, то есть он должен назначаться не ближе, чем $0,4 l_2$ от конца водобоя. При устройстве ковша это расстояние может быть сокращено.

ЛИТЕРАТУРА .

- [1]. А. Н. Рахманов. Основы расчета устойчивости каменно-набросных рисберм лесосплавных плотин. Научные труды ЛТА, вып. 96, 1961. [2]. А. Д. Титова. Об условиях работы рисберм в нижнем бьефе лесосплавных плотин. Сборник трудов ПЛТИ, № 54, 1960. [3]. А. Д. Титова. Определение формы потока при внезапном двустороннем расширении его. Сборник трудов ПЛТИ, № 56, 1963. [4]. ЦНИИЛесосплава. Альбом конструкций лесосплавных плотин, Гослесбумиздат, 1959.

Поступила в редакцию
1 июня 1964 г.

УДК 634.6.371/375.

К ВОПРОСУ О ДИНАМИКЕ СЦЕПА-ТРАНСПОРТЕРА УЖД

Г. К. ЛЕНЮК

Аспирант

(Ленинградская лесотехническая академия)

Широкое применение хлыстовой вывозки на лесовозных дорогах предъявляет к подвижному составу ужд ряд требований, обусловленных спецификой груза (гибкостью, непостоянством габаритов и т. д.).

Ряд новых образцов лесовозного подвижного состава колес 750 мм предложен ЦНИИМЭ и рядом лесотехнических институтов. В частности, в ЛТА создан новый сцеп-транспортёр с верхними поворотными рамами на сферических пятниках и верхней связью. Он предназначен для перевозки разномерного груза: хлыстов, стволов с кронами и сортиментного долготья.

В связи с этим необходимы всесторонние исследования новых образцов с целью выявления их динамических качеств и дальнейшего совершенствования конструкции. Данная статья отражает некоторые стороны динамики сцепа-транспортёра ЛТА.

Для исследования колебаний связанной системы сцеп-транспортёр + пакет хлыстов примем ряд допущений, необходимых при решении подобного рода задач.

1. Влияние упругости пути не учитываем; основанием к тому, чтобы пренебречь массой рельсового пути (рельсы, шпалы, балласт), по мнению А. А. Попова, является то, что при колебании груза (кузова вагона),двигающегося на колесе, вертикальное ускорение контакта колеса с рельсом невелико в случае безударного качения колеса.

2. Неподдресоренные массы подвижного состава не учитываются.

3. Колебания пакета и надрессорных масс подвижного состава малы.

4. Смещением пакета относительно верхних рам (если оно имеет место) за его малостью пренебрегаем.

5. Характеристика всех элементов подвески линейная.

6. Суммарные жесткости рессор левого и правого скользунов одинаковы; суммарные жесткости рессор всех тележек равны между собой.

7. Пакет хлыстов на своем протяжении имеет одинаковую площадь поперечного сечения и одинаковую погонную массу.

Пакет представляет собой систему с бесконечно большим числом степеней свободы, и применение классического метода [4], [7] в данном случае представляется чрезвычайно громоздким и трудным.

Большинство приближенных приемов основано на одной общей идее, предложенной английским физиком Рэлеем. Они известны под названием метода Рэля.

Кинетическую и потенциальную энергию пакета при колебаниях вычисляем энергетическим способом применительно к колебаниям I тона по рекомендации Л. Г. Лойцянского и А. И. Лурье [5], указавшим на наибольшее значение в практике колебаний низшей частоты и целесообразность вычисления кинетической энергии колеблющегося упругого тела применительно к основной, то есть низшей частоте.

Преобразование энергии для колебаний системы с одной степенью свободы [1] остается таким же и в системе с произвольным числом степеней свободы, если такая система совершает однотонные колебания одной определенной частоты. Любую систему можно заставить совершать такие колебания, если задать начальную форму отклонения, совпадающую с соответствующей стоячей волной. При таких колебаниях все точки системы будут одновременно проходить через положение равновесия и одновременно достигать крайних положений; механизм колебаний ничем не будет отличаться от случая системы с одной степенью свободы [1]. Таким образом, учет колебаний первого тона (основного) позволяет свести пакет к системе с одной степенью свободы [1], [2], [6], а число степеней свободы всей системы увеличится лишь на единицу.

Свободные колебания системы сцеп-транспортёр + пакет

Расчетная схема рассматриваемой системы изображена на рис. 1.

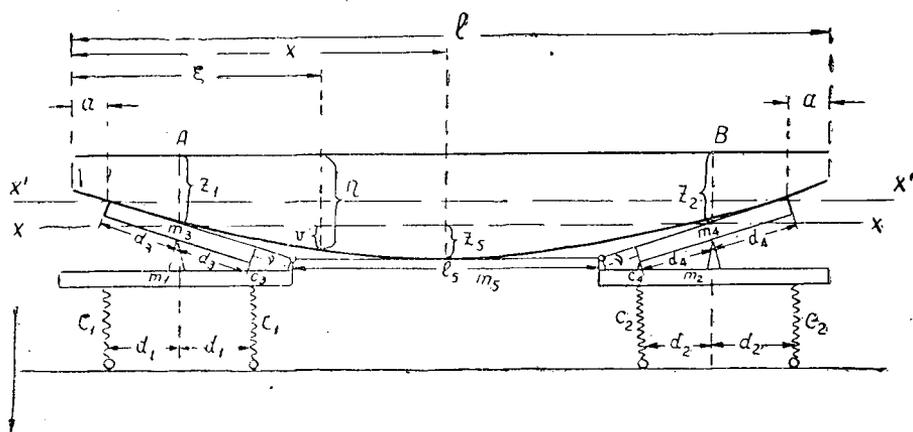


Рис. 1.

За обобщенные координаты согласно рис. 1 принимаем

$$z_1, z_2, z_5, \varphi_1, \varphi_2,$$

где z_1, z_2 — вертикальные смещения центров тяжести единиц подвижного состава (сферических пятников), отсчитываемые от равновесного их положения A и B ;

z_5 — смещение сечения пакета с абсциссой x при его изгибе. Следует отметить, что абсцисса x сечения, смещения которого принимаем за обобщенную координату z_5 , совершенно произвольна. В данном случае нас интересуют максимальные прогибы пакета при движении, поэтому естественно

$$x = \frac{l}{2};$$

φ_1, φ_2 — углы поворота нижних рам (галопирование) вокруг их центров тяжести (сферических пятников).

Кинетическая энергия системы в процессе колебаний

$$T = \frac{1}{2} \left[(m_1 + m_3) \dot{z}_1^2 + (m_2 + m_4) \dot{z}_2^2 + I_1 \dot{\varphi}_1^2 + I_2 \dot{\varphi}_2^2 + I_3 \frac{\dot{z}_5^2}{(d_3 + v)^2} + I_4 \frac{\dot{z}_5^2}{(d_4 + v)^2} + m_5 \dot{z}_5^2 \right] + T_n, \quad (1)$$

где m_1, m_2, I_1, I_2 — массы и моменты инерции нижних рам относительно центральных поперечных осей;

m_3, m_4, I_3, I_4 — массы и моменты инерции верхних рам относительно центральных поперечных осей;

$\frac{z_5}{d_3 + v}$ — угол поворота верхних рам относительно пятника;

$\frac{\dot{z}_5}{d_3 + v}$ — угловая скорость;

m_5 — масса верхней связи;

φ_1, φ_2 — углы поворота нижних рам относительно их центров тяжести;

T_n — кинетическая энергия пакета, определяемая как

$$T_n = \frac{1}{2} \int_0^l m(\xi) \dot{\eta}^2 d\xi, \quad (2)$$

здесь η представляет абсолютное отклонение элемента $d\xi$ с абсциссой ξ и равно

$$\eta = z_1 + (z_2 - z_1) \frac{\xi - a - d_3}{l - 2a - d_3 - d_4} + v. \quad (3)$$

Пусть уравнение изогнутой оси пакета (статических прогибов)

$$y = f(x), \quad (4)$$

а $f(\xi)$ — статическое отклонение сечения ξ

Отмечая, что функция $f(x)$ получена с учетом закрепления пакета на опорах, и полагая далее (по Рэлею), что при колебаниях пакет сохраняет форму статических прогибов, согласно уравнению (4) имеем

$$v(\xi, t) = \frac{f(\xi)}{f(x)} z_5(x, t), \quad (5)$$

где $v(\xi, t)$ и $z_5(x, t)$ — динамические прогибы соответствующих сечений ξ и x пакета.

Согласно уравнению (5) выражение (3) принимает вид

$$\eta = \left(1 - \frac{\xi - a - d_3}{l - 2a - d_3 - d_4} \right) z_1 + \frac{\xi - a - d_3}{l - 2a - d_3 - d_4} z_2 + \frac{f(\xi)}{f(x)} z_5.$$

Тогда кинетическая энергия всей системы согласно формулам (1) и (2) будет иметь вид

$$T = \frac{1}{2} (a_{11} \dot{z}_1^2 + 2a_{12} \dot{z}_1 \dot{z}_2 + 2a_{15} \dot{z}_1 \dot{z}_5 + a_{22} \dot{z}_2^2 + 2a_{25} \dot{z}_2 \dot{z}_5 + a_{55} \dot{z}_5^2 + I_1 \dot{\varphi}_1^2 + I_2 \dot{\varphi}_2^2), \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 \text{где } a_{11} &= m_1 + m_3 + \int_0^l m(\xi) \left(1 - \frac{\xi - a - d_3}{l - 2a - d_3 - d_4}\right)^2 d\xi = \\
 &= m_1 + m_3 + \int_0^l m(\xi) \frac{(l - a - d_4 - \xi)^2}{(l - 2a - d_3 - d_4)^2} d\xi = m_1 + m_3 + \\
 &\quad + \frac{I_B}{(l - 2a - d_3 - d_4)^2}; \\
 a_{12} &= \int_0^l m(\xi) \left(1 - \frac{\xi - a - d_3}{l - 2a - d_3 - d_4}\right) \frac{\xi - a - d_3}{l - 2a - d_3 - d_4} d\xi = \\
 &= \frac{\xi_c - a - d_3}{l - 2a - d_3 - d_4} m - \frac{I_A}{(l - 2a - d_3 - d_4)^2}; \\
 a_{15} &= \int_0^l m(\xi) \left(1 - \frac{\xi - a - d_3}{l - 2a - d_3 - d_4}\right) \frac{f(\xi)}{f(x)} d\xi = \int_0^l m(\xi) \frac{f(\xi)}{f(x)} d\xi - a_{25}; \\
 a_{22} &= m_2 + m_4 + \int_0^l m(\xi) \left(\frac{\xi - a - d_3}{l - 2a - d_3 - d_4}\right)^2 d\xi = \\
 &= m_2 + m_4 + \frac{I_A}{(l - 2a - d_3 - d_4)^2}; \\
 a_{25} &= \int_0^l m(\xi) \frac{\xi - a - d_3}{l - 2a - d_3 - d_4} \cdot \frac{f(\xi)}{f(x)} d\xi; \\
 a_{55} &= \frac{I_3}{(d_3 + v)^2} + \frac{I_4}{(d_4 + v)^2} + m_5 + \int_0^l m(\xi) \frac{[f(\xi)]^2}{[f(x)]^2} d\xi; \\
 I_A &= \int_0^l m(\xi) (\xi - a - d_3)^2 d\xi; \\
 I_B &= \int_0^l m(\xi) (l - a - d_4 - \xi)^2 d\xi;
 \end{aligned} \tag{7}$$

где I_A, I_B — моменты инерции пакета относительно поперечных осей, проходящих через точки A и B по определению момента инерции;

m — масса всего пакета.

Потенциальная энергия системы равна

$$\begin{aligned}
 \Pi &= \frac{1}{2} \left[2c_1 z_1^2 + 2c_2 z_2^2 + 2c_1 d_1^2 \varphi_1^2 + 2c_2 d_2^2 \varphi_2^2 + c_3 \frac{d_3^2 z_3^2}{(d_3 + v)^2} + \right. \\
 &\quad \left. + c_4 \frac{d_4^2 z_4^2}{(d_4 + v)^2} \right] + \Pi_n,
 \end{aligned}$$

здесь c_1, c_2 — жесткость рессор;

c_3, c_4 — жесткость скользунов;

Π_n — потенциальная энергия изгиба пакета.

Потенциальная энергия изгиба пакета

$$\Pi_n = \frac{1}{2} \int_0^l \frac{[M(\xi)]^2}{EI} d\xi.$$

Так как

$$M(\xi) = EI \frac{\partial^2 v}{\partial \xi^2} = \frac{EI f''(\xi)}{f(x)} z_5,$$

то

$$\Pi_{II} = \frac{1}{2} z_5^2 \frac{\int_0^l EI [f''(\xi)]^2 d\xi}{[f(x)]^2}. \quad (8)$$

Следовательно, потенциальная энергия всей системы

$$\Pi = \frac{1}{2} [b_{11} z_1^2 + b_{22} z_2^2 + b_{55} z_5^2 + \gamma_{11} \varphi_1^2 + \gamma_{22} \varphi_2^2], \quad (9)$$

где

$$\left. \begin{aligned} b_{11} &= 2c_1; \\ b_{22} &= 2c_2; \\ b_{55} &= c_3 \frac{d_3^2}{(d_3 + \nu)^2} + c_4 \frac{d_4^2}{(d_4 + \nu)^2} + \frac{\int_0^l EI [f''(\xi)]^2 d\xi}{[f(x)]^2}; \\ \gamma_{11} &= 2c_1 d_1^2; \\ \gamma_{22} &= 2c_2 d_2^2. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Согласно уравнению Лагранжа для сил, имеющих потенциал

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i'} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = 0,$$

дифференциальные уравнения свободных колебаний системы сцеп-транспортёр + пакет принимают вид

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \ddot{z}_1 + a_{12} \ddot{z}_2 + a_{15} \ddot{z}_5 + b_{11} z_1 &= 0; \\ a_{12} \ddot{z}_1 + a_{22} \ddot{z}_2 + a_{25} \ddot{z}_5 + b_{22} z_2 &= 0; \\ a_{15} \ddot{z}_1 + a_{25} \ddot{z}_2 + a_{55} \ddot{z}_5 + b_{55} z_5 &= 0; \\ I_1 \ddot{\varphi}_1 + \gamma_{11} \varphi_1 &= 0; \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + \gamma_{22} \varphi_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Отсюда следует, что поворотные колебания (галомирование) нижних рам при симметричности последних не зависят от колебаний отдельных масс системы. Для колебаний системы по координатам z_1, z_2, z_5 , полагая решение системы (11) в форме

$$\begin{aligned} z_1 &= A_1 \sin(kt + \varepsilon); \\ z_2 &= A_2 \sin(kt + \varepsilon); \\ z_5 &= A_3 \sin(kt + \varepsilon) \end{aligned}$$

и подставляя его в формулу (11), получаем вековое уравнение или уравнение частот

$$\Delta(k^2) = \begin{vmatrix} b_{11} - k^2 a_{11} & -k^2 a_{12} & -k^2 a_{15} \\ -k^2 a_{12} & b_{22} - k^2 a_{22} & -k^2 a_{25} \\ -k^2 a_{15} & -k^2 a_{25} & b_{55} - k^2 a_{55} \end{vmatrix} = 0.$$

Общее решение уравнений свободных колебаний системы (11) может быть написано в виде

$$z_1 = c_1 \sin(k_1 t + \varepsilon_1) + c_2 \sin(k_2 t + \varepsilon_2) + c_3 \sin(k_3 t + \varepsilon_3);$$

$$z_2 = c_1 \beta_1 \sin(k_1 t + \varepsilon_1) + c_2 \beta_2 \sin(k_2 t + \varepsilon_2) + c_3 \beta_3 \sin(k_3 t + \varepsilon_3);$$

$$z_5 = c_1 \gamma_1 \sin(k_1 t + \varepsilon_1) + c_2 \gamma_2 \sin(k_2 t + \varepsilon_2) + c_3 \gamma_3 \sin(k_3 t + \varepsilon_3);$$

$$\varphi_1 = D_1 \sin(\psi_1 t + \alpha_1);$$

$$\varphi_2 = D_2 \sin(\psi_2 t + \alpha_2),$$

где $\beta_i = \frac{\Delta_2(k_i^2)}{\Delta_1(k_i^2)}$; $\gamma_i = \frac{\Delta_3(k_i^2)}{\Delta_1(k_i^2)}$ ($i = 1, 2, 3$);

$$\Delta_1(k_i^2) = \begin{vmatrix} b_{22} - k_i^2 a_{22} & -k_i^2 a_{25} \\ -k_i^2 a_{25} & b_{55} - k_i^2 a_{55} \end{vmatrix}; \quad \Delta_2(k_i^2) = \begin{vmatrix} k_i^2 a_{12} & -k_i^2 a_{25} \\ k_i^2 a_{15} & b_{55} - k_i^2 a_{55} \end{vmatrix};$$

$$\Delta_3(k_i^2) = \begin{vmatrix} b_{22} - k_i^2 a_{22} & k_i^2 a_{12} \\ -k_i^2 a_{25} & k_i^2 a_{15} \end{vmatrix};$$

где k_i — i -тый корень уравнения частот;

$$\psi_1 = \sqrt{\frac{\gamma_{11}}{I_1}}; \quad \psi_2 = \sqrt{\frac{\gamma_{22}}{I_2}};$$

$c_1, c_2, c_3, D_1, D_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \alpha_1, \alpha_2$ — произвольные постоянные, определяемые из начальных условий.

Приводим пример вычисления собственных частот системы при следующих данных:

Вес пакета mg	18000 кг
Длина пакета l	21 м
Средний диаметр хлыста по середине $d_{ср}$	18,6 см
Жесткость пакета на изгиб EI по методу Б. Г. Гастева [3]	$1412 \cdot 10^3$ кг/м ²
Величина свесов a (при связи $l_5 = 0,5$ м)	1,35 м
Вес поддресоренных масс транспортера	
$m_{1g} = m_{2g}$	1200 кг
$m_{3g} = m_{4g}$	1450 »
m_{5g}	200 »
Жесткость всех рессор одной тележки $c_1 = c_2$	$350 \cdot 10^3$ кг/м
Жесткость комплекса скользящих $c_3 = c_4$	11400 кг/м

Учитывая, что отпор скользящих P передается середине пакета через посредство связи (рис. 1), найдем его, воспользовавшись принципом независимости действия сил. Сначала предположим, что упругих скользящих нет, и найдем прогиб середины пакета относительно $x' x'$. Затем будем считать, что пакет невесом и к нему приложены лишь упругие силы скользящих, увеличивающие или уменьшающие соответствующие реакции. Учитывая это, найдем прогиб пакета. После этого суммарный прогиб пакета приравняем прогибу его под действием упругих сил скользящих, откуда последние найдутся

а) $f_1 = \frac{M(l-2a)^2}{8EI} - \frac{5q(l-2a)^4}{384EI}$, где $M = \frac{qa^2}{2}$;

в) $f_2 = \frac{P(l-2a)^3}{48EI}$.

Сравнивая деформации, имеем соотношение

с) $f_1 + f_2 = f_p$, где $f_p = -\frac{P}{c_4}$.

Используя соотношения (а) и (в), перепишем уравнение (с), откуда отпор скользунов

$$P = \frac{5q(l-2a)^4}{384EI} - \frac{M(l-2a)^2}{8EI} \cdot \frac{1}{\frac{(l-2a)^3}{48EI} + \frac{1}{c_3 + c_4}}$$

Тогда дифференциальное уравнение изогнутой оси пакета относительно x' x' будет иметь вид

$$EI f''(\xi) = \frac{q\xi^2}{2} \Big|_{1,2,3,4} - \frac{mg-p}{2} (\xi-a) \Big|_{2,3,4} - P \left(\xi - \frac{l}{2} \right) \Big|_{3,4} - \frac{mg-p}{2} (\xi-l+a) \Big|_4,$$

а уравнение оси пакета относительно x

$$f(\xi) = \frac{1}{EI} \left[Q + N\xi + \frac{q\xi^4}{24} \Big|_{1,2,3,4} - \frac{mg-p}{12} (\xi-a)^3 \Big|_{2,3,4} - \frac{P}{6} \left(\xi - \frac{l}{2} \right)^3 \Big|_{3,4} - \frac{mg-p}{12} (\xi-l+a)^3 \Big|_4 \right] - \frac{f_{x'}}{2d_3 + \nu} d_3,$$

где Q, N — постоянные интегрирования, а последний член представляет собой расстояние между $x'x'$ и xx .

Коэффициенты в формулах (7) и (10) будут $a_{11} = a_{22} = 8465$; $a_{12} = -7300$; $a_{15} = 880$; $a_{25} = 880$; $a_{55} = 13103$; $b_{11} = b_{22} = 0,7 \cdot 10^6$; $\gamma_{11} = \gamma_{22} = 4,36 \cdot 10^6$; $b_{55} = 56700$. При этих значениях коэффициентов уравнение частот принимает вид

$$\begin{vmatrix} 0,7 \cdot 10^6 - 8465k^2 & 7300k^2 & -880k^2 \\ 7300k^2 & 0,7 \cdot 10^6 - 8465k^2 & -880k^2 \\ -880k^2 & -880k^2 & 56700 - 13103k^2 \end{vmatrix} = 0.$$

Отсюда получаем значения собственных частот системы $k_1 \approx 26,6 \frac{1}{\text{сек}}$; $k_2 \approx 10,2 \frac{1}{\text{сек}}$; $k_3 \approx 12,8 \frac{1}{\text{сек}}$.

Выводы

1. При изучении колебаний предлагаемой системы сцеп-транспорт + пакет целесообразно применение уравнений Лагранжа II рода.
2. Кинетическую энергию пакета следует вычислять применительно к основной частоте для получения практически наиболее важных результатов при простых средствах вычисления.
3. Галомирование нижних рам при симметричности последних не зависит от колебаний отдельных масс системы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. С. А. Бернштейн. Основы динамики сооружений. Стройиздат Наркомстрой, М.-Л., 1941. [2]. В. П. Вейц, В. К. Дондашанский. Вынужденные колебания в металлорежущих станках. Машгиз, 1959. [3]. Б. Г. Гастев. Свободные и вынужденные колебания связанной системы. Львов, 1957. [4]. А. Н. Крылов. О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики, имеющих приложения в технических вопросах. Изд. АН СССР, Л., 1932. [5]. Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. Теоретическая механика. Ч. II, ГТТИ, 1933. [6]. Я. Г. Пановко. Основы прикладной теории упругих колебаний. Машгиз, М., 1957. [7]. С. П. Тимошенко. Теория колебаний в инженерном деле. ГИИ, М.—Л., 1932.

УДК 634.0.383

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУНТОВ, УКРЕПЛЕННЫХ БИТУМНЫМИ ЭМУЛЬСИЯМИ

А. Д. ЮРИЧЕВ

Доцент, кандидат технических наук

Г. З. ИЛЬИН

Ассистент

(Поволжский лесотехнический институт)

В отечественной практике строительства дорог общего пользования битумные эмульсии применяют мало, а при строительстве лесовозных грунтовых дорог их вообще не используют.

Между тем укрепление грунтов вязкими битумами в виде эмульсий в холодном состоянии представляет значительный интерес, так как помимо повышения прочностных свойств грунтовой смеси они позволяют производить работы с влажными грунтами и при низкой температуре воздуха ($+5-10^\circ$ вместо $+15-20^\circ$), что существенно удлиняет дорожно-строительный сезон. Это особенно ценно для строительства лесовозных автомобильных дорог, так как большинство лесозаготовительных районов Советского Союза по своим климатическим условиям имеет короткий строительный сезон и избыточную влажность.

В настоящее время методы укрепления грунтов эмульсиями изучены недостаточно. В этой области нам известны лишь работы Ленинградского филиала СоюзДОРНИИ [4] и Московского лесотехнического института [3].

Работа по исследованию грунтов, укрепленных битумными эмульсиями, ведется также на кафедре сухопутного транспорта леса Поволжского лесотехнического института. Ниже приведены некоторые результаты этой работы.

В опытах использованы четыре основных вида грунтов, характерных для лесных районов. Гранулометрический состав их показан на интегральном графике (рис. 1).

Химический анализ показал, что тяжелые суглинки и супесь характерны сильной кислотностью ($pH < 5$) и слабо выраженной карбонатностью. Песок и легкая супесь фактически бескарбонатны и слабокислотны ($pH > 5$).

Для получения дорожных эмульсий использовали нефтебитум марки БН-II, имеющий показатели: глубина проникновения иглы при $25^\circ C$ — 6 мм, температура размягчения по методу «кольцо — шар» — 47° , растяжимость — более 100 мм.

В качестве эмульгаторов использовали сульфитно-спиртовую барду (ССБ) и смыленный древесный деготь.

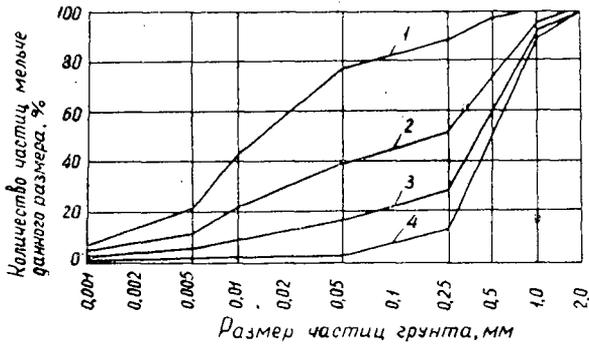


Рис. 1. Гранулометрический состав прунтов.

1 — суглинок тяжелый пылеватый; 2 — супесь тяжелая;
3 — супесь легкая; 4 — песок средний.

Эмульсии приготавливали в гомогенизаторе лабораторного типа; состав их следующий: 1) эмульсия на ССБ: битум БН-II — 50,0%; ССБ (сухого) — 1,3—3,0%; вода — 47,0—48,5%; 2) эмульсия на дегте: битум — 50,0%; деготь — 1,35%; едкий натр — 0,24%; вода — 48,41%.

В качестве поверхностно-активной добавки в исследовании применяли известь-пушонку II сорта со скоростью гашения 6,0 мин при максимальной температуре 60°. Для изготовления эмульсии применяли водопроводную воду средней жесткости (4 мг-экв/л).

Ввиду новизны дела в СССР нет еще ГОСТа на дорожные эмульсии, поэтому оценку их качества производили по показателям, предложенным Ленинградским филиалом СоюзДОРНИИ [1]. Как видно из табл. 1, эмульсии, применявшиеся в наших опытах, соответствуют этим показателям.

Таблица 1

Свойства эмульсий	Предъявляемые требования	Результаты испытаний	
		эмульсии на ССБ	эмульсии на дегте
Содержание битума, %	Около 50	40	60
Однородность	а) Не должно быть заметных на глаз частиц неэмульгированного битума б) При пропускании через сито остаток на нем не должен превышать 0,25% от веса эмульсии . . .	Соответствует условию	
стойчивость при хранении	При пропускании через сито после 7-дневного хранения остаток на сите не должен превышать 0,1% от веса эмульсии	0,20	0,28
Показатель распада эмульсии, %	Не более 25	0,15 10	0,13 11
Водоустойчивость битума, выделяющегося из эмульсии	Пленка не должна набухать, должна плотно держаться на материале, не должно быть помутнения воды	Соответствует условию	

Испытания грунтов, обработанных эмульсиями, проводили по методике Госкомитета Совета Министров СССР по делам строительства [2]. Для этого из обработанного грунта изготавливали стандартные образцы диаметром 2,5 и высотой 3 см, которые затем испытывали.

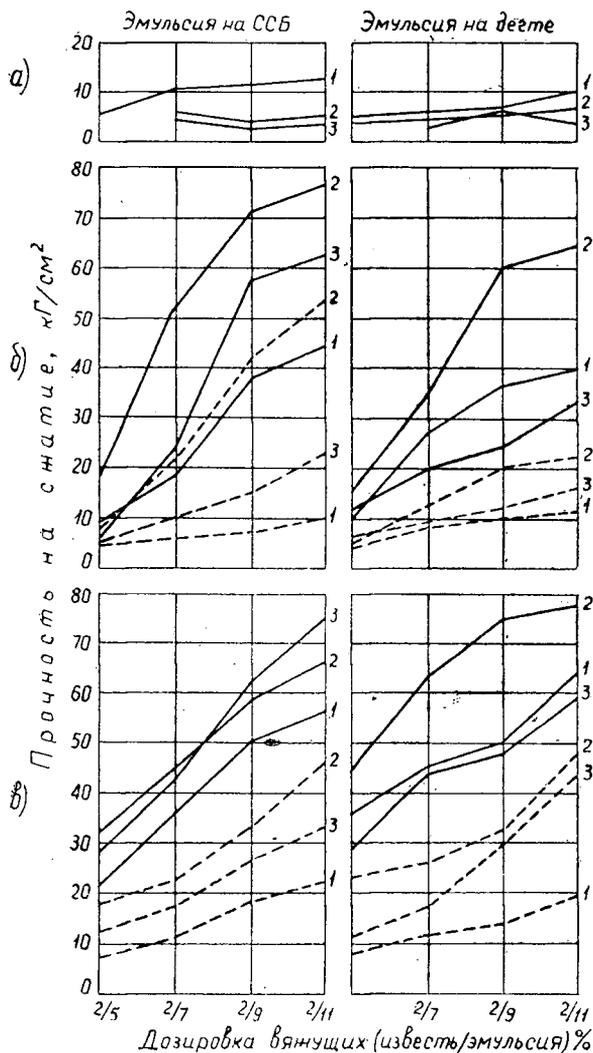


Рис. 2. Зависимость прочности образцов от дозировки вяжущих.

а) для супеси тяжелой; б) супеси легкой; в) песка среднего.
 1 — после полного водонасыщения; 2 — после пятикратного водонасыщения — высушивания; 3 — после пятикратного замораживания — оттаивания. Пунктирные линии — грунт, обработанный только эмульсией; сплошные — грунт, обработанный известью и эмульсией.

Дозировки вяжущего в пересчете на битум были приняты следующие: 5, 7, 9, 11% от веса грунта. Для каждой дозировки изготовляли по 12 одноименных образцов, которые через 7—10 суток испытывали на прочность: 3 образца — после полного водонасыщения (семи суток пребывания в воде), 3 образца — после пятикратного водонасыщения — высушивания (4 час — водонасыщение, 4 час — высушивание), 6 образцов после пяти циклов замораживания — оттаивания (4 час — замораживание после полного водонасыщения, 4 час — оттаивание в воде). В процессе испытаний определяли также влагоемкость и потерю в весе образцов. Результаты испытаний приведены на рис. 2.

Из рис. 2, а видно, что тяжелая супесь, укрепленная только эмульсией, положительных результатов не дает*. Но при введении в грунт 2% извести, а затем эмульсии образцы становятся значительно прочнее.

Наилучшими дозировками оказались: 2% извести и 7% эмульсии (в пересчете на битум), приготовленной на ССБ; 2% извести и 9% эмульсии, приготовленной на омыленном древесном дегте. При этих дозировках прочность образцов примерно одинакова для обоих видов эмульсий и составляет величину: после полного водонасыщения — 7—10,4 кГ/см^2 ; после пятикратного водонасыщения — высушивания — 5—6 кГ/см^2 ; после пяти циклов замораживания — оттаивания — 5,0 кГ/см^2 .

Как видно из приведенных на рис. 2, б данных, грунт оптимального состава (легкая супесь) хорошо поддается стабилизации эмульсией, изготовленной на ССБ. Даже при 5% битума (без добавки извести) прочность образцов оказалась выше минимально необходимой, а именно: после полного водонасыщения — 4,3, после пятикратного водонасыщения — высушивания — 17,0, после пяти циклов замораживания — оттаивания — 4,8 кГ/см^2 .

С увеличением дозировки эмульсии прочность образцов все время повышается и при 11% битума составила величину соответственно для каждого вида испытаний: 9,8; 53,0; 21,9 кГ/см^2 .

Комплексная обработка грунта известью и эмульсией еще более повысила прочность образцов. При 2% извести и 9% битума она достигала соответственно величин: 48,9; 76,5; 61,9 кГ/см^2 .

Грунт оптимального механического состава также хорошо укрепляется и битумной эмульсией, изготовленной на эмульгаторе из древесного дегтя. Однако прочность образцов оказалась все же значительно ниже, чем при обработке образцов того же грунта эмульсией на ССБ.

Данные графика 2, б показывают, что для стабилизации грунта оптимального состава только одной эмульсией, изготовленной на омыленном древесном дегте, необходимо вводить ее не менее 7% по битуму. При обработке грунта сначала 2% извести достаточно ввести 5% эмульсии (в пересчете на битум).

Из графика 2, в следует, что прочность образцов песчаного грунта, обработанного эмульсией на ССБ или омыленном древесном дегте, резко повышается с увеличением дозировки эмульсии. Укрепление грунта в комплексе известью и эмульсией дает еще более высокую прочность. При обработке грунта только 5% той или другой эмульсии прочность образцов в несколько раз превышает требуемую для стабилизированных грунтов. Приведенные в таблице данные показывают также, что образцы из песчаного грунта, обработанного эмульсией на дегте, не только не уступают по прочности, водостойкости и морозостойкости образцам с эмульсией на ССБ, но в ряде случаев имеют лучшие показатели.

Опыты с суглинистым грунтом показали, что он плохо поддается стабилизации битумными эмульсиями. Даже при дозировке битума 20% образцы не выдержали испытаний. Положительные результаты удалось получить лишь при совместной обработке грунта известью (8%) и битумом (20%). При таких дозировках вяжущих образцы оказались весьма прочными (21,6; 13,3; 14,7 кГ/см^2 соответственно для каждого вида испытания), но с большой влагоемкостью, близкой к максимально допускаемой (около 15%).

При решении вопроса о стабилизации суглинистого грунта необходимо для каждого конкретного случая проверять, не выгоднее ли добав-

* Согласно требованиям к укрепленным грунтам, прочность при сжатии водонасыщенных образцов должна быть не менее 3 кГ/см^2 ; влагоемкость — не более 15%.

кой песчаного грунта в суглинок получить оптимальную грунтовую смесь, а затем уже укреплять ее вяжущими при значительно меньших дозировках.

Проведенные исследования четырех разновидностей грунтов, обработанных битумными эмульсиями, показали, что все они, за исключением тяжелого суглинка, могут быть успешно укреплены указанным способом.

Важным резервом снижения расхода битума и, следовательно, стоимости дорожных одежд является комплексное укрепление грунтов: вначале известью (2—3%), затем эмульсией (5—7% по битуму) в зависимости от вида грунта и требуемого качества покрытия.

Лабораторные исследования показали также, что в качестве эмульгатора, наряду с сульфитно-спиртовой бардой, с успехом можно применять омыленный деготь, не являющийся дефицитным продуктом в лесных районах. Битумными эмульсиями можно укреплять пески. Обработка их жидкими битумами и дегтями «горячим способом» не дает должного эффекта.

Для проверки полученных лабораторных данных и изучения технологических особенностей формирования покрытия (внесение вяжущих в грунт, перемешивание, уплотнение смеси и т. п.) необходимо построить опытный участок дороги из грунта, укрепленного битумными эмульсиями.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. С. И. Гелфанд, М. Ф. Никишина и др. Изготовление дорожных битумных эмульсий. Дориздат, 1943. [2]. Госкомитет Совета Министров по делам строительства. Указание по применению в дорожном и аэродромном строительстве грунтов, укрепленных вяжущими материалами (СН-25-58), М., 1958. [3]. Отчет по научно-исследовательской теме «Строительство опытных участков дорог с применением извести, цемента и эмульсии», МЛТИ 1961. [4]. Л. Н. Ястребов. Укрепление грунтов битумными эмульсиями и пастами. Журн. «Автомобильные дороги» № 8, 1960.

Поступила в редакцию
24 июня 1964 г.

УДК 634.0.791

УРОВЕНЬ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н. И. КОКАРЕВ

Старший преподаватель

(Костромской технологический институт)

Влияние уровня концентрации лесозаготовительного производства на его рентабельность мы изучали по данным текущих и годовых отчетов леспромхозов комбината «Костромалес» за 1958—1962 гг. Показатели предприятий, объединенных в четыре группы, приведены в табл. 1.

Рост концентрации лесозаготовительного производства приводит к увеличению производительности труда.

Из табл. 1 видно, что в леспромхозах I группы комплексная выработка на одного рабочего в год больше, чем в предприятиях других групп, за исключением второй. Во второй группе леспромхозов самая высокая комплексная выработка, наибольший уровень комбинирования производств и процент отклонения фактического выхода деловой древесины от таксационного. При этом следует иметь в виду, что в предприятиях второй группы средний объем хлыста выше, чем в первой.

Объем вывозки в год на одну лесовозную дорогу характеризует степень концентрации производства. Наибольший уровень концентрации в предприятиях II группы (96 тыс. м³). В предприятиях I группы средний грузооборот был 85 тыс. м³; III — 90; IV — 79 тыс. м³. Приведенные данные указывают, что в предприятиях I группы концентрация производства не самая высокая, чем показатели предприятий этой группы снижаются.

Высокая производительность труда рабочих при более высокой степени концентрации производства вызвана лучшей организацией производства, применением новой техники и передовой технологии.

Из табл. 1 видно, что при большем объеме производства лучше используются производственные мощности. Высокой производительности механизмов в крупных предприятиях способствуют следующие факторы: 1) лучшая организация ремонтов и профилактического обслуживания механизмов. Крупные предприятия располагают лучшей ремонтно-технической базой (в сравнении с мелкими леспромхозами) и более квалифицированными кадрами; 2) наличие предприятий, располагающих более концентрированной лесосырьевой базой, при разработке которой трелевочные механизмы сосредоточены в одном месте. Этим создаются условия для квалифицированного руководства производством и применения передовой технологии; 3) концентрация лесозаготовок — предпосылка для своевременного и высококачественного строительства лесо-

Таблица 1

Показатели	Единицы измерения	Группы предприятий по среднегодовым объемам производства, тыс. м ³			
		I (501 и выше)	II (95—500)	III (288—394)	IV (181—287)
Годовой объем лесозаготовительного производства всех предприятий, входящих в группы	тыс. м ³	2850	1758	2379	2003
Средний годовой объем лесозаготовок одного предприятия	"	553	414	340	236
Среднее число предприятий	шт.	4,25	4,25	7,00	8,50
Удельный вес групп предприятий по их количеству	%	17,7	17,7	28,6	36,0
Удельный вес групп предприятий по объему лесозаготовок	"	27,7	20,7	28,1	23,5
Годовая комплексная выработка на рабочего	м ³	376,7	384,6	358,8	367,4
Средняя выработка на единицу основных машин в год					
трелевочных тракторов	тыс. м ³	6461,6	5731,3	5560,1	5844,8
автомашин на вывозке	"	6269,0	5972,2	4832,4	4984,9
паровозов на вывозке	"	24544	31651	31154	26732
Коэффициент использования машин					
трелевочных тракторов	%	0,58	0,53	0,51	0,47
лесовозных автомашин	"	0,62	0,58	0,54	0,51
паровозов	"	0,56	0,54	0,50	0,52
Фактический средний выход деловой древесины	%	70,8	70,6	68,5	72,5
Таксационный средний выход деловой древесины	"	66,7	65,6	65,7	68,4
Процент отклонения фактического выхода деловой древесины от таксационного	"	4,1	5,0	2,8	4,1
Средний объем хлыста	м ³	0,25	0,27	0,27	0,26
Среднее расстояние вывозки	км	21,2	16,2	19,4	18,5
Удельный вес вывозки					
по рельсовым дорогам	%	39,2	47,1	47,8	55,4
по автодорогам и рационализированным дорогам	"	60,8	52,9	52,2	44,6
Количество дорог, приходящихся на одно предприятие	шт.	6,5	4,3	3,8	3,0
Удельный вес товарной продукции деревообрабатывающих производств по всей товарной продукции леспромхоза	%	14,8	17,1	12,8	10,8
Удельный вес предприятий					
примыкающих к рекам	"	84	52	67	90
примыкающих к железной дороге нормальной колеи	"	16	48	33	10
Капиталовложения на 1 м ³ годового объема вывозки	руб.	0,88	1,01	1,08	1,15
Годовой выпуск продукции в оптовых ценах на 1 руб. капиталовложений	"	9,50	9,66	8,23	7,34

возных дорог и круглогодовой их эксплуатации. Это обуславливает содержание лесовозных дорог в хорошем состоянии и обеспечивает высокую производительность транспортных машин.

Уровень использования механизмов во времени и по мощности в предприятиях с различным объемом лесозаготовок лучше всего характеризуется коэффициентом использования основных механизмов, работающих в лесу. В мелких предприятиях он ниже, чем в крупных.

Увеличение фактического выхода деловой древесины во всех лес-промхозах по сравнению с таксационными данными рассмотрим по отношению к пунктам примыкания.

У леспромхозов, примыкающих к железной дороге широкой колеи, возможности по увеличению выхода деловой древесины более высоки.

В I и особенно в III группах предприятий недостаточно используются резервы по увеличению выхода деловой древесины.

На базе концентрации широкое развитие во II группе предприятий получило комбинирование.

Комбинирование производств в лесной промышленности — задача современного этапа развития, и его значение с каждым годом возрастает. Комбинирование лесозаготовительной промышленности с другими отраслями позволит улучшить использование лесосечного фонда, снизить эксплуатационные и транспортные затраты, наиболее рационально использовать капитальные вложения, что есть приведет к повышению производительности общественного труда.

Отношение товарной продукции деревообрабатывающих производств ко всей товарной продукции леспромхоза позволяет судить об уровне комбинирования. В крупных и средних леспромхозах возможности переработки древесины и отходов выше, чем в мелких.

Переработка древесины и отходов производства приобретает в некоторых случаях комбинирования столь большое экономическое значение, что становится весьма важным источником доходов, по величине не уступающих доходам от основного лесозаготовительного производства. Например, в Якшангском леспромхозе уровень комбинирования производства в 1962 г. составил 57,1%. Это обеспечило высокую норму рентабельности: по деревообрабатывающему производству 29,1%, по лесозаготовительному — 23,0%.

Важным показателем эффективности производства являются удельные капиталовложения на 1 м³ вывезенной древесины. В леспромхозах I группы этот показатель равен 0,88 руб., IV — 1,15 руб. Из этих данных видно, что наиболее эффективны капиталовложения в крупные предприятия.

Эффективность производства характеризуется также выпуском продукции в оптовых ценах на 1 руб. капиталовложений (фондоотдача). Из табл. I видно, что фондоотдача тем выше, чем сильнее развито комбинирование. В леспромхозах II группы выпуск продукции в оптовых ценах на 1 руб. капиталовложений наиболее высок — 9,66 руб.

Таблица 2

Показатели,	Единицы измерения	Группы предприятий			
		I	II	III	IV
Комплексная выработка на одного рабочего в год	м ³	367,7	384,6	368,8	367,4
Средняя годовая заработная плата рабочих на лесозаготовках . . .	руб.	1370	1359	1342	1347
Расходы по обслуживанию и управлению	руб. на 1 м ³ вывезенной древесины	0,83	0,84	0,86	0,99
Себестоимость 1 м ³	руб.	6,46	6,86	6,73	6,73
Средняя отпускная цена предприятия	руб. на 1 м ³	7,12	7,65	7,18	7,31
Прибыль на 1 м ³	руб.	0,66	0,79	0,45	0,58
Уровень рентабельности	%	10,2	11,5	6,7	8,6

В табл. 2 приведены данные об изменении производительности труда и заработной платы рабочих на лесозаготовках, затрат на содержание обслуживающего и управленческого персонала (цеховые и общезаводские расходы), уровня отпускных цен предприятия на лесопroduкцию, уровня себестоимости 1 м³ и нормы рентабельности лесозаготовительного производства в зависимости от объема лесозаготовок.

Более высокая производительность труда, сравнительно меньшие расходы (на 1 м³) по управлению и обслуживанию производства, лучшее использование техники и другие преимущества в крупных предприятиях обеспечивают снижение себестоимости 1 м³. Высокая себестоимость 1 м³ в предприятиях II группы является следствием того, что почти половина их (48%) примыкает к железной дороге широкой колеи. На этих предприятиях, как правило, древесину на нижних складах разделяют на короткие сортименты и однометровые дрова с их расколкой. Это требует дополнительной сортировки и укладки и дополнительных расходов (которых нет в леспромхозах, примыкающих к рекам).

Леспромхозы II группы имеют высокую отпускную цену (7,65 руб.), так как они вырабатывают более высококачественные сортименты. В I группе предприятий средняя годовая заработная плата рабочих (1370 руб.) выше, чем в других группах. Эта разница получилась потому, что в I группе рабочие имеют более высокий тарифный разряд. Причина этого — высокий удельный вес механизированных работ в крупных предприятиях.

Таким образом, опыт работы лесозаготовительных предприятий Костромской области подтверждает, что и на лесозаготовках, несмотря на все особенности этой отрасли, рентабельность находится в тесной прямой зависимости от уровня концентрации и комбинирования производства.

Поступила в редакцию
12 сентября 1964 г.

УДК 674.093.26

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

ДИСБАЛАНС РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА ПО ДЕРЕВУ
И МИКРОГЕОМЕТРИЯ ФРЕЗЕРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ *

В. А. ВИНОГРАДОВ

Ассистент

(Ленинградская лесотехническая академия)

От качества уравнивания роторов зависит не только общий уровень вибрации машин, но и режим работы подшипников, точность выполнения технологического процесса.

Ограничение допускаемого дисбаланса вращающихся частей механизма резания фрезерных станков (шпиндель с насадкой и режущим инструментом, ременный привод от электродвигателя) особенно важно, если учесть значительный вес часто консольно закрепленного режущего инструмента, большое число оборотов шпинделей и высокие требования, предъявляемые к качеству фрезерованной поверхности.

В настоящее время не существует единого мнения по вопросу отрицательного влияния неуравновешенности деталей. Так, например, многие исследователи считают, что неуравновешенная центробежная сила, отнесенная к силе тяжести детали, давящей на опору подшипников, не должна превышать определенной величины. Но в зависимости от специальных условий эксплуатации машин величина этого отношения может иметь 50-кратное расхождение.

Наличие расхождений [1], [2], [3], [4] в рекомендациях по допускаемому дисбалансу вращающихся масс, а также важность определения оптимальных допусков дисбалансов для фрезерных станков по дереву, отмеченная нами ранее, и послужили основанием для проведения исследования с целью изучения влияния дисбаланса на работу фрезерного станка.

Исследования проводили на вертикально-фрезерном станке (по дереву) типа FA-3/MP фирмы WACO (Halmstad Sweden).

Техническая характеристика исследуемого станка (вес 575 кг) приведена в табл. 1.

Мы изучали влияние дисбаланса режущего инструмента на изгиб конической части шпинделя станка. Если пока не касаться вопроса прочности шпинделя и его конической насадки, то величина дисбаланса в этом случае может быть ограничена жесткостью системы и требуемым качеством микрогеометрии фрезеруемой поверхности древесины.

* Работа была проведена в Шведской лаборатории исследования лесных продуктов (г. Стокгольм) в ноябре 1963 — апреле 1964 гг.

Таблица 1

Число оборотов электродвигателя, об/мин	Мощность электродвигателя, л. с.	Число оборотов шпинделя (об/мин) при диаметре шкива на электродвигателе 225/250
900	2,5	2500/2900
1400	3,5	3900/4500
2800	4,0	7850/9000

В докритической зоне чисел оборотов шпинделя дисбаланс режущего инструмента (без учета дисбаланса самого шпинделя и конусной насадки) приведет к возникновению силы инерции

$$P_{и} = \frac{G_{р.и}}{g} \cdot \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot e}{9 \cdot 10^5} \text{ кг}, \quad (1)$$

где $G_{р.и}$ — вес режущего инструмента, кг;

e — эксцентриситет центра тяжести режущего инструмента и центра его вращения, мм.

Сила инерции $P_{и}$ при конечной жесткости системы вызовет отклонение консольной части шпинделя (на уровне режущего инструмента) от оси вращения, которое аналитически можно подсчитать по формуле

$$y_1 = \frac{P'_{и} \cdot b^2 \cdot (a + b)}{3 \cdot E \cdot I_1} + \frac{P'_{ш} \cdot a^2 \cdot b}{16 \cdot E \cdot I_2}, \quad (2)$$

где a — расстояние между опорами;

b — длина консольной части шпинделя (от верхнего подшипника до середины высоты режущего инструмента);

E — модуль упругости;

$P'_{ш}$ — вес шпинделя;

I_1 — усредненный момент инерции сечения консольной части шпинделя;

I_2 — момент инерции сечения междуопорной части шпинделя.

$$P'_{и} = \frac{G_{р.и}}{g} \cdot \frac{\pi^2 \cdot n^2}{9 \cdot 10^5} \cdot (e + y_1);$$

$$P'_{ш} = \frac{G_{р.и}}{g} \cdot \frac{\pi^2 \cdot n^2}{9 \cdot 10^5} \cdot y_2,$$

где y_2 — прогиб шпинделя между опорами, который может быть подсчитан по формуле

$$y_2 = \frac{P'_{ш} \cdot a^3}{48E \cdot I_2} + \frac{P'_{и} \cdot a^2 \cdot b}{16E \cdot I_1}. \quad (3)$$

Совместное решение уравнений (2) и (3) дает только приближенный прогиб с учетом жесткости шпинделя и конусной насадки и без учета жесткости опор; учет же последней значительно усложнит расчеты. Поэтому был принят графо-аналитический метод исследования. Согласно этому методу опытным путем определяют жесткость системы на уровне середины режущего инструмента и строят график жесткости в системе координатных осей «усилие — деформация». Затем для различных ступеней чисел оборотов аналитическим путем дают зависимость центробежной силы инерции от дисбаланса и отклонения консольной

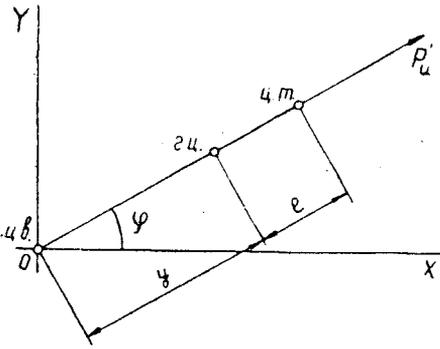


Рис. 1. Схема расположения центров в докритической зоне чисел оборотов шпинделя.

ц. в. — центр вращения; г. ц. — геометрический центр; ц. т. — центр тяжести; y — прогиб от силы инерции $P'_ц$; e — начальный дисбаланс; γ — текущий угол вращения радиуса-вектора центров.

части шпинделя на уровне середины высоты режущего инструмента от оси вращения. Эту зависимость строят на предположении, что в докритической зоне чисел оборотов шпинделя ось вращения, геометрический центр и центр тяжести располагаются на одной прямой, причем центр тяжести всегда за геометрическим центром (рис. 1).

Графики $P_{ин} = f(e + y_1)$, представляющие собой прямые линии, совмещаются с графиком жесткости. Пересечение прямых линий с графиком жесткости покажет для конкретных случаев отклонение консольной части шпинделя и соответствующие этому отклонению центробежные силы инерции.

На основании выше указанного предположения можно заключить, что силы инерции от дисбаланса имеют статический характер воздействия на шпиндель. Поэтому без учета сил резания и других пульсирующих нагрузок, действующих на шпиндель во время его работы, в первом приближении можно проанализировать влияние дисбаланса режущего инструмента на микрогеометрию фрезерованной поверхности, используя пока данные статической жесткости шпинделя и его конусной насадки.

Статическую жесткость шпинделя вместе с конусной насадкой вертикально-фрезерного станка типа FA-3/MP исследовали с помощью постепенного нагружения и разгрузки (при нулевых скоростях) консольной части на уровне середины режущего инструмента перпендикулярно продольной оси шпинделя в направлении обрабатываемого изделия. Схема замера статической жесткости шпиндельного узла станка

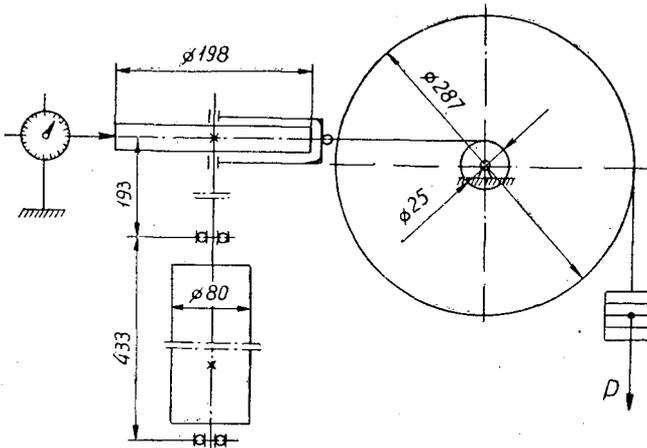


Рис. 2.

показана на рис. 2. Нагрузку создавали в пределах от 0 до 117 кг через каждые 3 кг. Для уменьшения погрешности от трения на опоре ролика последняя была смонтирована на шариковых подшипниках. Отклонения консольной части шпинделя измеряли при помощи индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Для выявления различной жесткости шпинделя соответственно в четырех направлениях на месте режущего инструмента был смонтирован специальный диск с разметкой направлений нагружения и замера отклонений.

Так как начальные точки отсчетов до нагружения и после снятия нагрузки разнятся на величину выбранных люфтов, то постепенное нагружение и разгрузку в одном и том же направлении проводили дважды. Весь процесс замера жесткости был проведен при повороте шпинделя на 720° через каждые 90° . Существенной разницы в жесткости по различным направлениям обнаружено не было. При повторных замерах и соответствующем нагружении точки отсчета отклонения шпинделя совпадали. Выявился значительный гистерезис кривой жесткости первичного нагружения, разгрузки и вторичного нагружения. При дальнейшей разгрузке и нагружении кривые жесткости полностью совпадают с разгрузочной кривой и вторым нагружением (рис. 3).

С целью уменьшения пульсирующих нагрузок от электродвигателя на шпиндель станка (что было необходимо для последующих исследований) эксцентricность обода шкива на электродвигателе с осью вращения была уменьшена за счет проточки обода на самом электродвигателе, а заводской цельнотканый прорезиненный ремень был заменен бесконечным нейлоновым. Это привело к тому, что числа оборотов шпинделя изменились по сравнению с паспортными и теперь составляли соответственно 2740/4080/8170 об/мин.

По формуле (1) для этих чисел оборотов были построены графики центробежных сил при соответствующих расстояниях от геометрического центра до центра вращения режущего инструмента (рис. 3). Вес инструмента принят равным 7 кг.

Прежде чем анализировать совмещенные графики жесткости шпинделя с конусной насадкой и центробежных сил при соответствующих расстояниях от геометрического центра до центра вращения режущего инструмента, необходимо отметить, что при грубом фрезеровании чистота поверхности лежит в пределах $\Delta\sigma 5 - \Delta\sigma 6$, а при чистом — $\Delta\sigma 7 - \Delta\sigma 9$. Указанным классам чистоты поверхности соответствуют следующие значения глубины неровностей:

Класс чистоты	$\Delta\sigma 5$	$\Delta\sigma 6$	$\Delta\sigma 7$	$\Delta\sigma 8$	$\Delta\sigma 9$
Глубина неровностей, мк	200—315	100—200	60—100	30—60	16—30

С помощью совмещенных графиков можно легко определить действительные инерционные силы, которые зависят от дисбаланса режущего инструмента и жесткости системы при соответствующих числах оборотов. Эти усилия были определены следующим образом: значения инерционных усилий только от дисбаланса (без учета жесткости системы) откладывают по оси абсцисс; из полученных точек на оси абсцисс проводят лучи, параллельные соответствующим графикам инерционных усилий различных чисел оборотов, до пересечения с графиком жесткости; по точке пересечения с графиком жесткости находим значение действитель-

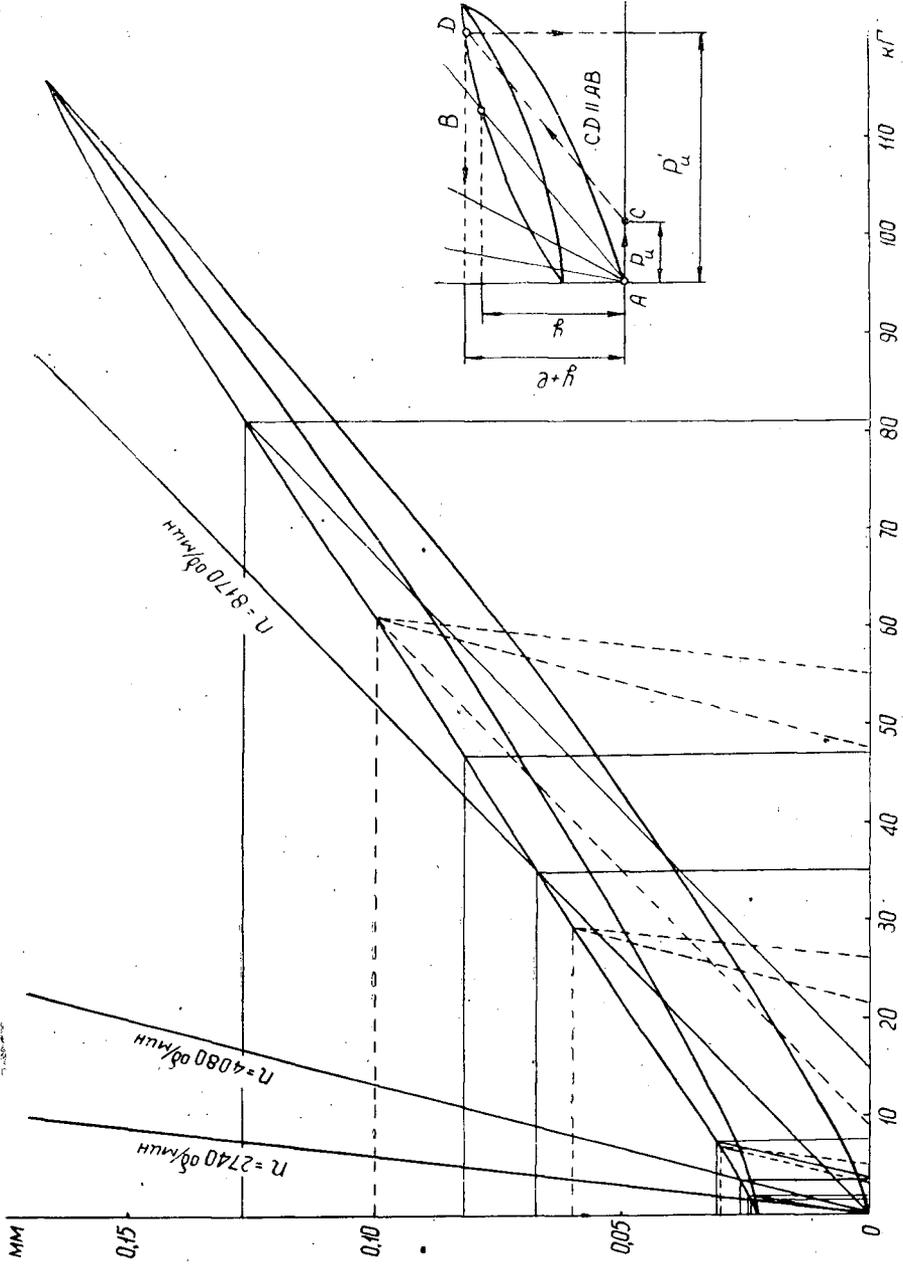


Рис. 3. Совмещенные графики статической жесткости и инерционных усилий в шпиндельном узле вертикально-фрезерного станка типа FA-3/МР.

ных сил инерции и соответствующее им отклонение геометрического центра вращения.

Без учета дисбаланса шпинделя и конусной насадки и при нулевом дисбалансе режущего инструмента геометрический центр режущего инструмента при 2740 об/мин отстоит от центра вращения на 0,022 мм, при 4080 — на 0,026 мм и при 8170 — на 0,067 мм, причем центробежные силы, действующие на шпиндельную насадку, будут соответственно равны 1,5; 3,5 и 35,0 кг.

Участие двух диаметрально расположенных ножей в формировании поверхности $\Delta 9$ класса чистоты возможно только при 2740 и 4080 об/мин режущего инструмента, а при 8170 об/мин второй нож может участвовать в формировании поверхности лишь $\Delta 7$ класса чистоты и грубее.

Дисбаланс режущего инструмента 2 Г на радиусе резания 100 мм не исключает участия второго ножа в формировании поверхности $\Delta 9$ класса чистоты только при числе оборотов режущего инструмента 2740 в 1 мин; при 4080 об/мин второй нож может формировать поверхность лишь $\Delta 8$ класса чистоты, а при 8170 об/мин — $\Delta 6$ и грубее. Дисбаланс режущего инструмента до 60,7 Гсм при $n = 2740$ об/мин не исключает участия второго резца в формировании поверхности $\Delta 9$ класса чистоты; при 4070 об/мин второй резец может участвовать в формировании поверхности $\Delta 9$ класса чистоты при дисбалансе до 13,6 Гсм.

Таким образом, с помощью совмещенных графиков можно определить любые предельные значения дисбаланса режущего инструмента для соответствующего числа оборотов при формировании поверхности необходимого класса чистоты.

Учет сил резания при анализе влияния дисбаланса режущего инструмента на его микрогеометрию может привести к улучшению условий и к расширению соответствующих пределов допускаемых дисбалансов. Наличие третьей опоры шпинделя уменьшит отклонение консольной части от дисбаланса на уровне режущего инструмента, но приведет к значительному ухудшению условий работы верхнего подшипника шпинделя.

В заключение следует отметить, что приведенная методика исследования влияния дисбаланса режущего инструмента на микрогеометрию фрезерованной поверхности может быть применена и к отечественным фрезерным станкам.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. Э. Грубе. ДЕРЕВОРЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ, Гослесбумиздат, 1958. [2]. Н. В. Кулесник. Статическая и динамическая балансировка. Машгиз, 1954. [3]. Теория и конструкция балансировочных машин. Машгиз, 1963, под редакцией профессора В. А. Щепильникова. [4]. А. Ф. Янишевский. Уравновешивание деталей деревообрабатывающих станков, ЦБТИ, 1956.

Поступила в редакцию
9 августа 1964 г.

УДК 674.653

ТОЧНОСТЬ УСТАНОВКИ ПОДВИЖНОЙ ПИЛЫ ОБРЕЗНЫХ СТАНКОВ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Г. М. ГЕРНЕТ

Старший преподаватель

(Архангельский лесотехнический институт)

Точность ширины доски, получаемой после обрезки ее, во многом зависит от точности установки подвижной пилы на заданный размер. В современных обрезных станках механизм перемещения пилы оснащен гидравлическим следящим приводом.

Для определения наиболее рациональной конструкции привода, обеспечивающей наибольшую точность установки пилы, были проведены сравнительные исследования работы двухпильных обрезных станков, оснащенных различными гидравлическими приводами.

Работа по определению точности установки подвижной пилы на заданный размер предусматривала получение необходимых данных для сравнительной оценки современных обрезных станков и изучение влияния скоростных и силовых факторов при работе гидросистемы. Точность установки подвижной пилы была определена на обрезных станках Ц2Д-5А, ЦД-Г, 8Х (финской фирмы «Кархула»), ТОР (шведской фирмы «Содерхамнс») и на экспериментальной установке с гидрофицированным механизмом перемещения пилы, имеющим электрическую систему управления.

С целью проведения сравнительного анализа при определении влияния гидравлической блокировки, обеспечивающей преселективное управление, на точность установки подвижной пилы обрезные станки Ц2Д-5А и 8Х были оснащены преселективным устройством. Для каждого станка было определено влияние скорости перемещения подвижной пилы и величин давления в напорной магистрали (давление настройки предохранительного клапана) и противодействия в сливной магистрали на точность установки пилы на заданный размер.

В современных обрезных станках скорость перемещения подвижной пилы составляет 120—180 мм/сек. Для более полного представления о влиянии скорости перемещения на точность установки суппорта с подвижной пилой для станков Ц2Д-5А, ЦД-Г, типа 8Х и типа ТОР был принят следующий диапазон скоростей: 100, 200 и 300 мм/сек.

При определении влияния давления в напорной магистрали на точность установки подвижной пилы был принят следующий ряд давлений: 20; 32; 40; 50 кг/см². Величины давлений приняты в соответствии с нормалью рядов давлений, разработанной по ГОСТу 356—59. Дополнительно к нормальному ряду опыты проводили при $P = 40$ кг/см². Величина противодействия в сливной магистрали $P_{пр}$ была принята равной 3 кг/см² в соответствии с рекомендациями, имеющимися в технической литературе [1].

Для получения сопоставимых данных и исключения влияния на результаты экспериментов факторов, связанных с износом деталей станка,

опыты проводили на вновь установленных станках; перед началом опытов каждый станок был проверен на соответствие нормам точности.

В гидравлических следящих механизмах обрезных станков применяют распределительные золотники с положительным перекрытием, то есть когда ширина буртиков на штоке золотника больше, чем ширина или диаметр окон в корпусе последнего. Положительные перекрытия у золотников необходимы при фиксации положения подвижной пилы в момент обрезки доски. Чтобы получить сопоставимые данные и исключить влияние различной величины перекрытия, для всех гидросистем с механической обратной связью были изготовлены новые золотники, величина положительного перекрытия у которых была принята одинаковой и равнялась 0,2 мм.

При проведении экспериментов насосные станции станков отключали. К гидравлической системе станка была подключена специальная насосная станция с контрольно-регулирующей гидравлической аппаратурой от экспериментальной установки [3]. Для определения скорости перемещения пилы на станке был установлен датчик скорости [2]. Местоположение пилы фиксировали индикаторной головкой измерительного устройства. Замеры установки подвижной пилы на заданный размер производили как при цикле сближения, так и при раздвижении. Эксперименты проводили при соблюдении условия установки рукоятки управления на один и тот же заранее выбранный размер. Таким постоянным был принят размер в 8", соответствующий среднему положению размерной шкалы управления обрезного станка. При цикле сближения пилы перемещались с размера 12 до 8", а при цикле раздвижения — с 4 до 8".

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для того чтобы оценить, как гидравлические следящие системы механизма перемещения подвижной пилы в обрезных станках влияют на точность установки ее на заданный размер, целесообразно ввести понятия зоны нечувствительности механизма и зоны рассеивания размера.

Под зоной нечувствительности условимся понимать расстояние между местоположениями пилы при сближении и раздвижении на один и тот же размер. Величина этой зоны равна разности между средними арифметическими значениями установки пилы на заданный размер при циклах сближения и раздвижения

$$A = M_1 - M_2,$$

где: A — величина зоны нечувствительности, мм;
 M_1 — среднее арифметическое вариационного ряда местоположений пилы при сближении, мм;
 M_2 — среднее арифметическое вариационного ряда местоположений пилы при раздвижении, мм.

Под зоной рассеивания размера понимают расстояние, на котором возможны расхождения местоположения подвижной пилы при сближении и раздвижении, когда рукоятку управления фиксируют на одном и том же размере. Величина этой зоны равна сумме значений зоны нечувствительности и средних квадратических отклонений установки пилы на заданный размер при циклах сближения и раздвижения. В соответствии с правилами трех сигм максимальная величина зоны рассеивания (B) для рассматриваемого случая имеет вид

$$B = A + 3(\sigma_{сб} + \sigma_{разд}) \text{ мм.}$$

где $\delta_{сб}$ -- среднее квадратическое отклонение размера при сближении, мм;

$\delta_{разд}$ -- среднее квадратическое отклонение размера при раздвижении, мм.

В табл. 1 и 2 приведены значения величин зоны нечувствительности механизма перемещения и зоны рассеивания размера при установке подвижной пилы двухпилных гидрофицированных обрезных станков в зависимости от скорости перемещения пилы (при постоянном значении настройки предохранительного клапана, равном 20 кг/см^2).

Таблица 1

Тип станка	Зона	Величина зоны (мм) при скорости перемещения, мм/сек		
		100	200	300
Ц2Д-5А с преселективным управлением	А	—	0,44	—
	Б	—	0,89	—
" без преселективного управления	А	0,51	0,45	0,42
	Б	0,87	0,90	1,05
ЦД-Г	А	1,36	1,28	1,02
	Б	4,51	5,12	5,08
8Х с преселективным управлением	А	—	0,12	—
	Б	—	0,69	—
" без преселективного управления	А	0,18	0,13	0,08
	Б	0,54	0,64	0,68
ТОР	А	1,50	1,45	1,41
	Б	3,06	3,61	3,72

Таблица 2

Тип станка	Зона	Величина зоны (мм) при скорости перемещения, мм/сек			
		100	150	200	250
Гидрофицированный механизм перемещения пилы с электрической системой управления	А	10,88	12,44	16,51	25,57
	Б	12,44	14,54	19,51	28,72

Сравнение экспериментальных данных позволяет выявить зависимость точности установки пилы от скоростных и силовых факторов привода и конструктивных особенностей гидрофицированных механизмов.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ СЛЕДЯЩИХ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПИЛЫ НА ТОЧНОСТЬ УСТАНОВКИ ЕЕ

1. Принцип действия системы управления. При работе гидропривода с механической системой управления с возрастанием скорости перемещения пилы уменьшается зона нечувствительности и одновременно увеличивается зона рассеивания размера.

Рассматривая работу гидропривода в идеальных условиях, то есть без учета тех явлений, которые сопровождают переходный процесс в гидросистеме, мы предположили, что при установке на размер пила не будет доходить до номинального размера на величину перекрытия. При работе гидропривода в реальных условиях полная остановка пилы будет

происходить не в момент перекрытия каналов золотника, а с некоторым запаздыванием вследствие упругости масла в гидроцилиндре и инерции перемещаемых масс. В связи с этим суппорт с пилой будет устанавливаться ближе к номинальному размеру.

Сравнительно большая величина перебоев суппорта с подвижной пилой у гидропривода, имеющего электрическую систему управления, может быть объяснена следующим. Остановка суппорта происходит после срабатывания промежуточного реле, которое выключает ток, питающий электромагнит управления золотником. После срабатывания электрической системы управления золотник с помощью пружины устанавливается в нейтральное положение. На все это необходимо определенное время. Так, по данным, опубликованным в одной из работ [4], время переключения электромагнитов золотника управления может достигать до 0,05 сек; по данным, указанным в одной из справочников [5], время срабатывания реле МКУ-48 составляет 0,03 сек.

На основании вышеизложенного можно заключить, что инерционность срабатывания элементов электрической цепи управления является тем основным фактором, от которого зависит величина перебоев суппорта с пилой у этого типа привода.

2. *Наличие гидравлической блокировки, обеспечивающей преселективное управление.* Введение в гидравлическую систему блокирующего элемента для обеспечения преселективного управления механизмом раздвижения не влияет на точность установки подвижной пилы.

3. *Способ соединения штока цилиндра или гильзы гидроцилиндра при заземленном штоке с суппортом подвижной пилы.* Наиболее высокой точностью установки подвижной пилы обладают станки, где шток рабочего гидроцилиндра или гильза последнего при заземленном штоке непосредственно жестко соединены с суппортом пилы (обрезные станки ЦД-5А, 8Х). Сравнительно меньшая точность установки пилы на станках ЦД-Г, ТОР, где шток рабочего гидроцилиндра соединен с суппортом подвижной пилы через промежуточные звенья, может быть объяснена, во-первых, тем, что введение в кинематику механизма дополнительных звеньев, имеющих шарнирное соединение, увеличивает общую величину люфта, складывающегося из зазоров в соединениях сопрягаемых деталей; наличие люфта увеличивает зону нечувствительности; во-вторых, тем, что промежуточные звенья, выполняющие роль ускорителей, увеличивают ошибку рассогласования гидравлической следящей системы на величину, пропорциональную передаточному отношению, которое для станка ЦД-Г, составляет 1,85, а для станка типа ТОР — 3.

4. *Способ подключения рабочего цилиндра к гидравлической системе.* Сравнение экспериментальных данных, полученных при работе обрезного станка типа ТОР, показало, что точность установки пилы при дифференциальном подключении цилиндра (цикл раздвижения) находится в тех же пределах, что и при обычном подключении (цикл сближения). Однако дифференциальный способ позволяет получать одинаковые скорости перемещения как при сближении, так и при раздвижении, что особенно важно для обрезных станков. Кроме этого цилиндр с дифференциальным способом подключения имеет меньшую длину, так как для обеспечения одинаковых скоростей при таком подключении отпадает необходимость в применении ложного штока. При одинаковом расходе жидкости гидроцилиндр с дифференциальным подключением берет большего диаметра, что позволяет избежать тех трудностей, которые возникают при обработке цилиндров малых диаметров.

5. *Способ фиксирования следящего механизма.* Ранее мы отметили, что наличие люфтов в цепи управления и обратной связи следящего при-

вода понижает его чувствительность. В практике эксплуатации гидропривода известны случаи, когда из-за износа шарнирных соединений в кинематической цепи следящего привода суммарная величина люфта становится больше величины положительного перекрытия золотника. При работе такого привода в момент установки на размер золотник проходит свое нейтральное положение. Происходит изменение направления движения следящего привода. В результате привод, вместо того чтобы остановиться в положении равновесия, начинает совершать около него колебательное движение. Это явление может быть устранено при назначении большей величины положительного перекрытия золотника. Однако его увеличение влечет за собой и возрастание зоны нечувствительности привода.

Сравнение экспериментальных данных показывает, что точность установки подвижной пилы значительно выше у тех станков, где фиксатор установлен непосредственно на датчике рассогласования управляющего золотника (станки 8Х и ТОР). В этом отношении особенно выгодно отличается конструкция станка 8Х. В этом станке для устранения влияния люфтов в цепи управления фиксируют распределительный диск следящего устройства, в прорези которого устанавливают специальный фиксатор клиновидной формы. Влияние люфта в обратной связи механизма устранено с помощью применения сжатой пружины часового типа.

Выводы

1. Увеличение скорости перемещения практически не влияет на точность установки пилы на обрезных станках с механической системой управления. При работе гидрофицированного механизма перемещения, имеющего электрическую систему управления, с увеличением скорости перемещения точность установки пилы понижается из-за запаздывания в срабатывании составных элементов электрической системы управления.

2. Увеличение давления в напорной линии и ввод противодействия в линию слива существенного значения на точность установки пилы не оказывают.

3. Введение в гидросистему элемента преселективного управления не влияет отрицательно на точность установки пилы.

4. Наиболее приемлемой конструкцией гидропривода для обрезных станков с точки зрения обеспечения надлежащей точности установки пилы является следящий привод, где подачу команды на изменение местоположения пилы производят посредством механической системы управления; шток гидроцилиндра соединен непосредственно с суппортом подвижной пилы; фиксирование следящего механизма осуществляется посредством фиксатора, установленного на золотнике управления или на одном из элементов датчика рассогласования вблизи золотника управления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Л. Б. Богданович. Гидравлические приводы в машинах. Машгиз, Москва—Киев, 1962. [2]. Г. М. Гернет. Применение магнито-электрического датчика скорости при исследовании гидропривода обрезных станков. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 4, 1962. [3]. Г. М. Гернет. Экспериментальная установка для исследования работы гидроприводов обрезных станков. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 1962. [4]. Руководящие материалы по гидрооборудованию станков. Гидравлическая аппаратура ручного, путевого и дистанционного управления. М., ЭНИМС, 1961. [5]. Справочник по элементам автоматики и телемеханике. М.—Л., 1958.

УДК 674.093.26

ДАВЛЕНИЕ ПРЕССОВАНИЯ ПРИ СКЛЕИВАНИИ СЛОИСТОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ЕГО СВЯЗЬ С ТОПОГРАФИЕЙ ЛУЩЕНОГО ШПОНА

В. А. КУЛИКОВ

Доцент, кандидат технических наук

(Ленинградская лесотехническая академия)

Одним из обязательных, хотя и не единственным условием качественного склеивания слоев шпона является достаточно плотный контакт соединяемых поверхностей в период отверждения клея. Из-за наличия погрешностей формы шпона и неплоскостности плит клеильных прессов такой контакт может быть достигнут путем сжатия склеиваемых пакетов, что приводит к появлению не всегда желательных остаточных деформаций древесины.

Установим связь между погрешностями формы шпона и величиной необходимого давления сжатия склеиваемых пакетов, которое могло бы обеспечить желаемое контактирование соединяемых поверхностей. Для этого рассмотрим некоторый участок шпона (рис. 1), подвергающийся

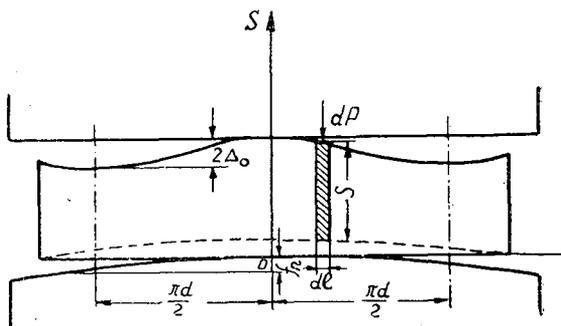


Рис. 1. Расчетная схема к вопросу определения величины давления, необходимого для полного контакта листов шпона друг с другом при их сжатии.

сжатию двумя жесткими плитами. Условимся считать, что одна из плит имеет некоторую погрешность формы, приобретенную в процессе обработки ее поверхностей и по величине эквивалентную суммарной погрешности обеих плит. Поскольку превалирующее влияние здесь оказывают ошибки базирования, закон изменения погрешности формы плиты имеет вид

$$f = f_0 - \frac{4f_0}{l_0^2} l^2 = f_0 - kl^2, \quad (1)$$

где f_0 — максимальная величина погрешности формы плиты пресса (отклонение от плоскости), мм;
 l_0 — длина плиты пресса, мм;
 l — расстояние от начала координат до интересующего нас сечения плиты, мм.

Результаты проведенных нами экспериментов показали, что величина погрешности толщины шпона в любой точке по длине ленты может быть определена с помощью следующего уравнения:

$$\Delta = \Delta_0 \left(1 + \cos \frac{2l}{d} \right), \quad (2)$$

где Δ_0 — амплитуда колебания толщины шпона, мм;
 l — длина ленты шпона, мм;
 d — диаметр чурака в рассматриваемый момент лущения, мм.

Для определения величины усилия, требующегося для полного выравнивания верхней поверхности шпона, выделим из него тонкую пластину размером $s \times b \times dl$. Для деформации ее потребуется сила

$$dP = p \cdot b \cdot dl,$$

где b — ширина рассматриваемого участка ленты шпона, см;
 p — напряжение сжатия, кг/см².

Силу, необходимую для деформации участка ленты шпона определенной длины, можно найти по формуле

$$P = \int_{l_1}^{l_2} p \cdot b \cdot dl. \quad (3)$$

Величина напряжения, возникающего в березовом шпоне при его сжатии, может быть приближенно определена по установленной нами эмпирической формуле

$$p = A_0 - m(\varepsilon_0 - \varepsilon)^3 - g(\varepsilon_0 - \varepsilon), \quad (4)$$

где ε — относительная деформация шпона, %;
 A_0 , m , ε_0 и g — некоторые коэффициенты, зависящие от температуры t и влажности W древесины.

Для определения указанных коэффициентов можно пользоваться следующими формулами:

$$A_0 = \left(25 + \frac{1000}{W} \right) \cdot [1 - (0,0051 - 0,00004W) \cdot (t - 20)];$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1,469 + 9,8A_0}{41,5 + A_0};$$

$$g = \frac{1,81A_0 - 51,7}{A_0 - 25};$$

$$m = \frac{A_0 - g\varepsilon_0}{\varepsilon_0^3}.$$

Величину относительной деформации шпона при его сжатии (с учетом неплоскостности плиты пресса) можно представить в таком виде:

$$\varepsilon = \frac{\Delta + f}{s} \cdot 100 = \frac{\Delta_0 \cdot \left(1 + \cos \frac{2l}{d} \right) + (f_n - kl^2)}{s} \cdot 100, \quad (5)$$

где l_n — длина рабочей части плиты, имеющей погрешность формы f_n ;
 s — средняя толщина сжимаемого слоя древесины.

Подставляя выражения (5) и (4) в формулу (3), получим

$$P = b \int_{l_1}^{l_2} \left\{ A_0 - m \left[\varepsilon_0 - \frac{\Delta_0 \left(1 + \cos \frac{2l}{d} \right) + (f_n - kl^2)}{s} \cdot 100 \right]^3 - \right. \\ \left. - g \left[\varepsilon_0 - \frac{\Delta_0 \left(1 + \cos \frac{2l}{d} \right) + f_n - kl^2}{s} \cdot 100 \right] \right\} dl. \quad (6)$$

Поскольку в дальнейшем нас будет интересовать величина силы, отнесенная к единице поверхности шпона, решение последнего интеграла значительно упрощается, если принять пределы интегрирования $l_1 = -\frac{\pi d}{2}$ и $l_2 = +\frac{\pi d}{2}$ и отнести силу P к площади $b \times \pi d$.

Тогда получим

$$p = \frac{100}{s} (3m\varepsilon_0^2 + g) \cdot (\Delta_0 + f_n) - m\varepsilon_0 \cdot \left(\frac{100}{s} \right)^2 \times \\ \times \left[4,5\Delta_0^2 + \left(6 - \frac{14d^2}{l_0^2} \right) \cdot \Delta_0 \cdot f_n + \left(3 - \frac{20d^2}{l_0^2} \right) \cdot f_n^2 \right] + m \left(\frac{100}{s} \right)^3 \cdot \left[2,5\Delta_0^3 + \right. \\ \left. + \left(4,5 - \frac{37,5d^2}{l_0^2} \right) \cdot \Delta_0^2 \cdot f_n + \left(3 + \frac{10d^2}{l_0^2} + \frac{40d^4}{l_0^4} \right) \cdot \Delta_0 \cdot f_n^2 + \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{10d^2}{l_0^2} \right) \cdot f_n^3 \right]. \quad (7)$$

Если не учитывать наличия неплоскостности плит клеильного пресса, считая $f_n = 0$, то последняя формула примет вид

$$p = \frac{100}{s} \cdot (3m\varepsilon_0^2 + g) \cdot \Delta_0 - m\varepsilon_0 \cdot \left(\frac{100}{s} \right)^2 \cdot 4,5\Delta_0 + 2,5m \left(\frac{100}{s} \right)^3 \cdot \Delta_0^3. \quad (8)$$

При выводе указанных формул мы пренебрегли погрешностью формы шпона в продольном (по отношению к волокнам древесины) направлении, которая может образоваться к концу лущения чурака из-за его изгиба.

Уравнения (7) и (8) получены для случая сжатия одного слоя шпона, но их можно распространить и на многослойные пакеты, если Δ_0 рассматривать как амплитуду колебания толщины пакета (половину поля рассеивания), а s — как толщину пакета.

В случае совпадения направления волокон в соседних слоях шпона половина поля рассеивания толщины пакета (с учетом вероятности сочетания максимальных размеров отдельных слоев)

$$\Delta_0 = \lambda \sqrt{\sum_{i=0}^{i=n} \sigma_i^2}; \quad (9)$$

при равенстве толщин отдельных слоев

$$\Delta_0 = \lambda \sigma \cdot \sqrt{n}, \quad (9')$$

где λ — коэффициент, учитывающий форму кривой распределения (например, при нормальном законе распределения $\lambda = 3$, при законе арксинуса $\lambda = 1,4$).

При взаимно перпендикулярном направлении волокон в соседних слоях и неизбежном совпадении в одном сечении пакета не менее двух максимальных толщин шпона половина поля рассеивания толщины пакета

$$\Delta_0 = \lambda \sqrt{(\sigma_{\perp} + \sigma_{\parallel})^2 + \sum_{i=0}^{i=n-2} \sigma_i^2}; \quad (10)$$

при $\sigma_{\perp} = \sigma_{\parallel}$ и равенстве толщин отдельных слоев

$$\Delta_0 = \lambda \sigma \sqrt{n+2}. \quad (10')$$

Выясним, на какую температуру и влажность следует ориентироваться при расчетах необходимого давления сжатия. Для случая сжатия пакета, между слоями которого находится жидкая клеевая прослойка, влажность шпона по сечению каждого слоя не является величиной постоянной. В зонах сечений, примыкающих к клеевым слоям, влажность древесины относительно высокая (ввиду адсорбирования шпоном влаги из клея), а в центральных частях слоев она равна $W_{\text{нач}}$. Но так как деформация шпона при сжатии происходит по всему сечению каждого слоя, при определении напряжений сжатия следует ориентироваться на начальную среднюю влажность пакета, которая может быть легко определена по известным формулам [2].

Что касается температуры древесины шпона, то при расчетах можно ориентироваться на некоторую среднюю ее величину, которая, будучи равномерно распределенной по поперечному сечению пакета, определяет количество тепла, сообщенное ему при нагревании [1]

$$t_{\text{ср}} = \frac{2}{s} \int_0^{\frac{s}{2}} t(s, \tau) \cdot ds. \quad (11)$$

Прoанализируем формулы (7) и (8) для того, чтобы выяснить влияние различных факторов на величину p . Поскольку толщина s сжимаемого пакета входит в знаменатель ряда членов этих формул, величина p

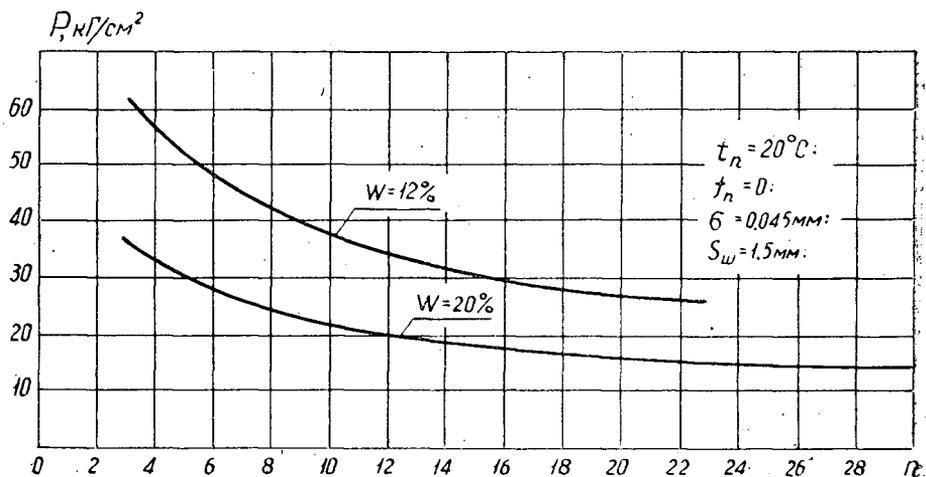


Рис. 2. Влияние числа слоев шпона n на величину необходимого давления сжатия пакета при $t = 20^\circ \text{C}$.

должна уменьшаться с увеличением толщины пакета. Иллюстрацией этого является построенный по формуле (8) график (рис. 2).

Из сказанного можно сделать практический вывод, что холодное склеивание слоистого материала целесообразно производить только толстыми пакетами. В противном случае необходимость увеличения p привела бы к возрастанию остаточных деформаций (упрессовки) древесины или потребовала бы резко увеличить расход клея для заполнения пустот между слоями шпона из-за отсутствия в этих местах требуемого контакта.

На рис. 2 хорошо видно также влияние влажности древесины сжимаемого пакета: чем она выше, тем меньше может быть давление плит пресса на пакет для полного его выравнивания. Влияние номинальной толщины шпона на величину давления сжатия p может быть установлено с учетом наличия функциональной связи между толщиной шпона s и ее погрешностью Δ .

Многолетние наблюдения за действительной точностью лущения шпона в производственных условиях (в пределах $s = 0,5 \div 1,8$ мм) позволяют приблизительно характеризовать зависимость среднеквадратического отклонения толщины шпона от номинального его размера следующим уравнением:

$$\sigma = 0,03s. \tag{12}$$

В этом случае величина относительной деформации сжатия пакета

$$\varepsilon = \frac{0,06\lambda \cdot \sqrt{s_{\text{п}}s + 2s^2}}{s_{\text{п}}} \cdot 100, \tag{13}$$

где $s_{\text{п}}$ — толщина сжимаемого пакета;
 s — толщина шпона.

Из формулы (13) видно, что для достижения требуемой контактности между слоями шпона при одной и той же толщине сжимаемого пакета необходимо меньшее усилие в случае использования тонкого шпона.

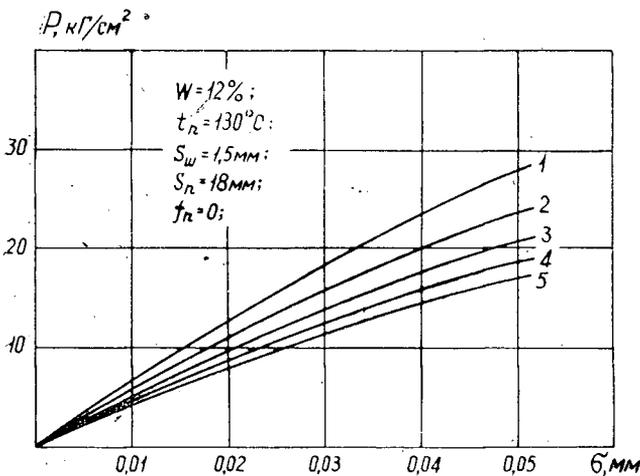


Рис. 3. Зависимость давления сжатия пакета от погрешности толщины шпона (при идеально плоских плитах пресса) и времени его пьезотермической обработки τ .

Кривая 1 — 1 мин; 2 — 2 мин; 3 — 3 мин; 4 — 4 мин; 5 — 5 мин.

Рассмотрим вопрос о влиянии точности изготовления шпона и неплоскостности плит на давление прессования. Проведенные по формуле (8) подсчеты величины p для случая прессования пакетов из шпона, изготовленного с различной точностью, показывают, что с уменьшением среднеквадратического отклонения σ величина необходимого давления прессования заметно уменьшается (рис. 3). Вследствие усиливающейся пластификации древесины по мере ее прогрева давление может быть снижено без риска потерять необходимую степень контактирования склеиваемых листов. Правильность этого положения подтверждает практика фанерования брусковых и щитовых заготовок. Так, при одинаковой толщине различных заготовок и использовании одного и того же клея, время выдержки щитовых заготовок (в прессе под давлением), как имеющих большие погрешности формы, всегда несколько больше, чем брусковых.

Если говорить об абсолютной величине необходимого давления прессования, то согласно существующим технологическим инструкциям оно должно быть в пределах $18-25 \text{ кг/см}^2$ (при склеивании фанеры). Из графика на рис. 3 видно, что эту рекомендацию можно использовать только в случае $\sigma < 0,045 \text{ мм}$ (для $s = 1,5 \text{ мм}$) и при отсутствии погрешностей формы у плит клеильных прессов. Но так как погрешности все же имеют место, не исключена возможность ухудшения качества склеивания при этих значениях p .

На рис. 4 построенном по формуле (8) показана зависимость давления сжатия пакета от величины погрешности формы плит пресса f и времени пьезотермической обработки пакета τ . Производственникам хорошо известны неприятные последствия износа краевых зон плит клеильных прессов, величина которого по существующим инструкциям не должна быть более $0,2 \text{ мм}$ (в точках, расположенных на расстоянии 200 мм от кромок плит). По нашему мнению, этот норматив явно завышен, компенсировать же его влияние путем увеличения давления плит пресса на склеиваемый материал не всегда возможно (из-за ограничения

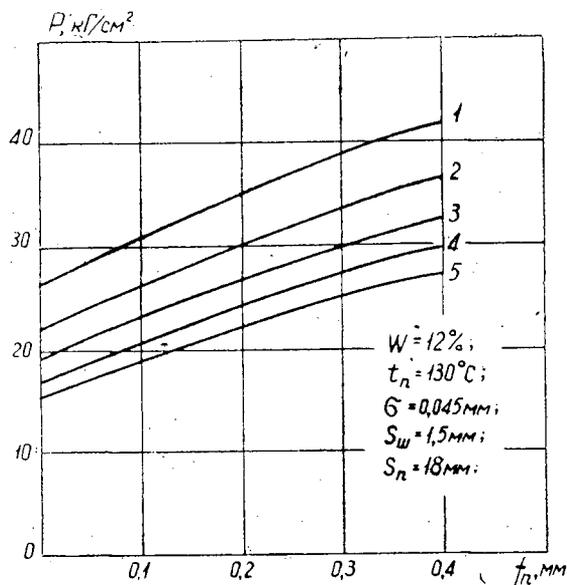


Рис. 4.

Кривая 1 — 1 мин; 2 — 2 мин; 3 — 3 мин; 4 — 4 мин; 5 — 5 мин.

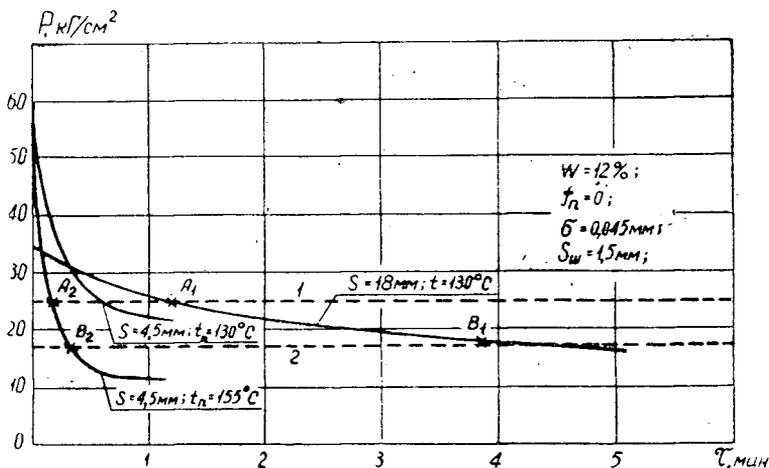


Рис. 5. Изменение необходимого давления сжатия во времени при склеивании фанеры толстыми пакетами ($s = 18 \text{ мм}$) и по одному листу ($s = 4,5 \text{ мм}$) в промежутках прессы.

мощности прессов) и вряд ли целесообразно (из-за неизбежного увеличения в этом случае безвозвратной потери объема готовой продукции на упрессовку).

Рассмотрим вопрос об изменении необходимого давления прессования во времени для случаев склеивания слоистого материала толстым пакетом и по одному листу в промежутке прессы.

Картина изменения p по мере прогрева пакета представлена на рис. 5, построенном по формуле (8).

В случае склеивания толстого пакета снижение необходимого давления прессования протекает довольно медленно в соответствии со скоростью роста средней температуры пакета. При этом практически применяемые пределы давления прессования, изображенные на рис. 5 штриховыми горизонтальными линиями, достигаются по истечении 1,25 мин (верхний предел — точка A_1) и 3,85 мин (нижний предел — точка B_1). При склеивании фанеры по одному листу в промежутке необходимое давление сжатия уменьшается весьма быстро и указанные пределы давления достигаются соответственно по истечении 0,175 мин (точка A_2) и 0,33 мин (точка B_2). Но качество склеивания при этом может быть достаточно высоким только в том случае, если время перехода клея в твердое состояние больше времени достижения желаемой контактности склеиваемых слоев друг с другом.

В дальнейшем желательно установить конкретную связь между скоростью нарастания контактности слоев в сжимаемом пакете и скоростью отверждения применяемых при этом клеев.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. М. Кириллов. Основы графоаналитических методов расчета режимов термической обработки древесины. Изд. ВЗЛТИ, 1956. [2] Справочник фанерщика. Т. 1, Гослесбумиздат, 1961.

УДК 674.053.621.934

ВЛИЯНИЕ ВАЛЬЦЕВАНИЯ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДИСКОВЫХ ПИЛ

Ю. М. СТАХИЕВ

Заведующий лабораторией резания древесины и инструмента

(ЦНИИМОД)

Вальцевание дисковых пил для распиловки древесины производят, чтобы создать остаточные начальные напряжения определенного знака и величины. Последние необходимы для компенсации температурных напряжений, возникающих в процессе пиления, и обеспечения устойчивой эксплуатации инструмента. Теоретические исследования этого вопроса выполнены в ЛТА* и ЦНИИМОДе**. В 1964 г. нами проведены экспериментальные исследования с целью определения напряженного состояния дисковых пил в зависимости от степени вальцевания и проверки некоторых теоретических положений.

Для измерения напряжений, создаваемых при вальцевании пил, был использован метод электрической тензометрии. Напряженное состояние контролировали только в периферийной части пилы, так как величина и знак (растяжение, сжатие) этих напряжений — определяющие условия устойчивости плоской формы равновесия диска и эффективности метода вальцевания. В опытах использовали 5 пил диаметром 500 мм, толщиной 2,2 мм, поставленных заводом-изготовителем без правки и проковки. На каждую пилу наклеивали по 8 прямоугольных розеток датчиков с базой 20 мм и сопротивлением 200 Ом. Схема размещения датчиков показана на рис. 1. В качестве регистрирующего устройства использовали тензометрический прибор ИСН-20М, который благодаря применению схемы электрического моделирования уравнений Гука непосредственно измеряет статические напряжения в плоском напряженном состоянии. Чувствительность прибора 5 кг/см².

Датчики тарировали в линейном напряженном состоянии на специальном устройстве Т-12 универсальной тензометрической установки УТС-1-ВТ-12. При снятии замеров с датчиков пилу устанавливали в горизонтальном положении на специальном поверочном диске.

Опытные пилы вальцевали на специализированном станке конструкции ЦНИИМОДа. Степень вальцевания определяется режимом работы станка — силой прижима роликов к пиле P_v и числом концентрических кольцевых проходов по диску i . Принятая схема вальцевания опытных пил приведена на рис. 1. При одном режиме сила прижима роликов к диску на всех четырех проходах принята постоянной. Каждую пилу на последующих режимах обрабатывали по одним и тем же сле-

* Г. С. Гуркин, Теоретическое исследование устойчивости плоской формы равновесия круглых пил. Диссертация, ЛТА, 1958.

** Ю. М. Стахиев, Научный отчет по теме № 17-а «Исследование устойчивости круглых пил». ЦНИИМОД, 1964.

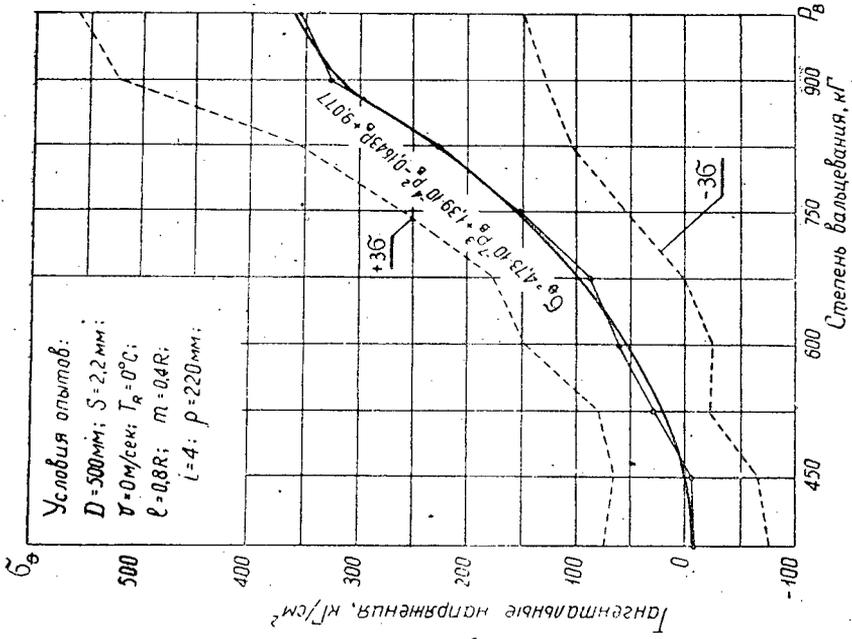


Рис. 2. Влияние степени вальцевания на тангентальные напряжения дисковых пил.

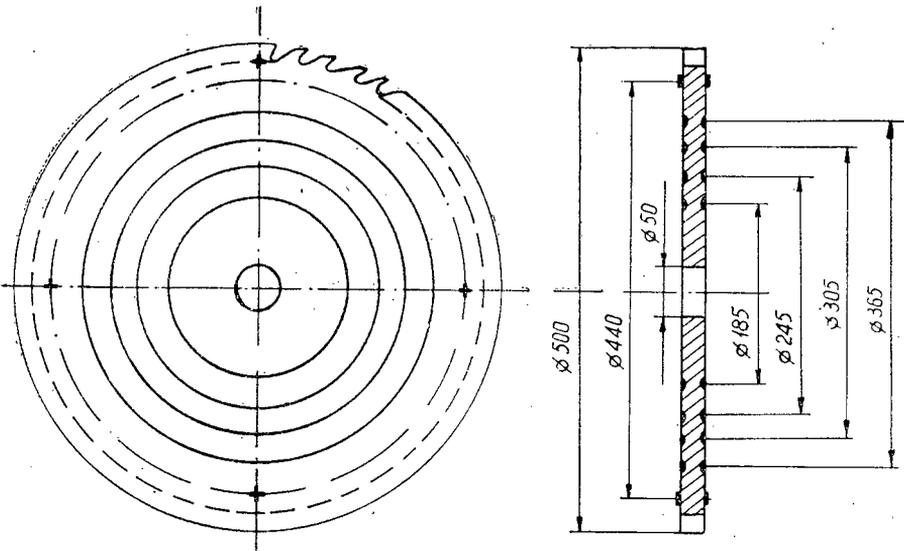


Рис. 1. Схема вальцевания и размещения тензодатчиков на опытных пилах.

дам вальцевания. Точность попадания в прежний след вальцевания контролировали индикатором. Она составляла 0,01 мм. Данные замеров, относящиеся к одному режиму вальцевания, подвергали статистической обработке одновременно для 8 датчиков и 5 опытных пил. Результаты этой обработки использовали для построения эмпирических диаграмм.

Проведенные исследования показали, что в результате вальцевания в периферийной части пилы возникают начальные тангентальные напряжения растяжения и радиальные напряжения сжатия. По величине тангентальные напряжения значительно больше радиальных и поэтому рассмотрение первых представляет наибольший интерес.

При небольшой степени вальцевания (рис. 2) сначала происходит перераспределение начальных тангентальных напряжений, оставшихся в пиле после ее изготовления. В опытах это имело место при $P_v = 375 \div 450$ кг, когда величина напряжений $\sigma_0 = (6,36 \div 3,4)$ кг/см². С увеличением степени вальцевания возрастают напряжения растяжения. После достижения определенной величины (при $P_v = 900 \div 975$ кг) интенсивность роста напряжений значительно уменьшается, так как диск переходит критическое состояние и теряет устойчивость плоской формы равновесия. Дальнейшее существенное увеличение натяжения режущей кромки пилы за счет вальцевания становится практически невозможным.

Опыты показали, что при вальцевании в соответствии с выбранным законом распределения пластической деформации по радиусу возможна потеря устойчивости пилы только по зонтичной форме. Участок кривой (рис. 2), соответствующий напряженному состоянию пилы при начальном изменении неплоскостности и дальнейшей потере устойчивости ($P_v \gg 900$ кг), характеризуется увеличением среднего квадратического отклонения $\pm \sigma$. В периферийной части пил $D = 500$ мм, $S = 2,2$ мм; при их критическом состоянии средняя фактическая величина создаваемых вальцеванием тангентальных напряжений растяжения равна 322—344 кг/см². Согласно нашим расчетам величина напряжений для этого случая равна 363 кг/см², что хорошо согласуется с данными опыта. Сравнение величин σ_0 при вальцевании с величинами σ_0 , полученными в исследованиях А. Э. Грубе (ЛТА) и П. И. Лапина (АЛТИ) при проковке пил, показывает, что указанные напряжения примерно равны. Следовательно, проковкой и вальцеванием могут быть обеспечены одни и те же показатели, характеризующие устойчивость дисковых пил. Путем вальцевания можно создать тангентальные напряжения растяжения и компенсировать ими напряжения сжатия от неравномерного нагрева, но только в определенных пределах. Сопоставляя опытные данные с результатами наших теоретических исследований, можно сделать вывод, что величина напряжений $\sigma_0 \approx 340$ кг/см² оказывается достаточной для полной компенсации напряжений сжатия, вызываемых температурным перепадом порядка 20° С в пиле принятого размера.

Существующая практика подготовки дискового дереворежущего инструмента подтверждает полезность и положительное влияние операций проковки и вальцевания на устойчивость пил, хотя по абсолютному значению величина компенсируемого температурного перепада сравнительно невелика. Это обстоятельство объясняется тем, что во многих случаях пиления величины фактического и компенсируемого температурных перепадов примерно одного и того же порядка.

УДК 674.048

СЛАНЦЕВЫЕ СМОЛЫ КАК АНТИСЕПТИКИ ДРЕВЕСИНЫ**Г. Е. ШАЛТЫКО**

Доцент, кандидат химических наук

(Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта)

Р. А. СОХОР

Инженер

З. А. КРАСНОВА

Инженер

(Комбинат «Сланцы»)

Ранее [10], [11], [12] нами были исследованы фунгисидные свойства различных сланцевых смол (СС) и их фракций.

В настоящей работе изучены генераторная (ГС) и камерная (КС) сланцевые смолы, их смеси, взятые в объемном-процентном соотношении 50:50 и 30:70, а также фракции этих смол, полученные методом холодного фракционирования. Кроме того, были исследованы смеси заводских СС с каменноугольным пропиточным маслом (КПМ) с целью получения сланцевого шпалопропиточного масла (СШМ) из СС и их фракций и для выяснения оптимальных соотношений СС и КПМ при использовании их для антисептической пропитки древесины (по ГОСТу 5430—50). Для сравнительной оценки было изучено каменноугольное пропиточное масло (КПМ), по физико-техническим показателям удовлетворяющее требованиям ГОСТа 2770—59.

*Экспериментальная часть**

Для исследования были взяты образцы, вырезанные из однородно подобранной заболонной части древесины сосны, размерами $20 \times 20 \times 10 \pm 0,5$ мм и $20 \times 20 \times 5 \pm 0,5$ мм (10 и 5 мм вдоль волокон).

Физико-химическая характеристика исходных смол и их смесей приведена в табл. 1. По некоторым показателям исследованные сланцевые смолы не соответствуют требованиям технических условий на маслянистые вещества, применяющиеся для пропитки древесины. Для получения СШМ из этих смол следует от КС отгонять легкие фракции до установления температуры вспышки (в соответствии с техническими условиями). Кроме того, необходимо понизить содержание механических примесей в этой смоле до норм, допускаемых техническими условиями. При физико-технических показателях КС, соответствующих ТУ 392—51, ее можно применять непосредственно как антисептик древесины. СШМ

* В работе принимали участие З. Н. Соколова, А. А. Кулешова, Е. М. Кузьмина, А. Н. Поварещенкова, М. И. Крестенко, В. В. Бобров.

Таблица 1

Показатели	Единицы измерения	Смолы		Смеси смол КС+ГС, (объемный %)	
		камерная	генераторная	50 : 50	30 : 70
Удельный вес	d_4^{20}	1,070	1,020	1,046	1,046
Вязкость при 80°C	<i>c-стокс</i>	4,1	19,6	9,0	17,8
Механические примеси	Вес. %	0,56	0,75	0,65	0,70
Зола	"	0,20	0,32	0,26	0,28
Вода	"	Следы	Следы	Следы	0,81
Молекулярный вес	<i>г/моль</i>	184	260	235	250
Коэффициент преломления	n_D^{20}	1,6228	1,6225	1,6225	1,6226
Температура вспышки в открытом сосуде	°C	35	120	59	80
Фракционный состав при температуре (°C)	Объемн. %				
200		16	—	8	6
220		24	2	12	12
240		34	4	18	16
260		42	8	28	24
280		46	14	32	30
300		52	20	38	36
320		58	28	44	46
340		64	38	54	50
360		77	54	76	57
Групповой состав					
фенолы	Вес. %	8,50	25,50	14,65	17,09
карбоновые кислоты		0,11	0,59	0,36	0,40
гидроксильные группы		2,14	4,80		
Элементарный состав					
углерод	Вес. %	86,41	81,86	87,60	81,86
водород		7,43	10,60	9,05	10,03
сера		0,42	0,42	0,41	0,36
кислород и азот		5,74	7,12	2,94	7,75

можно получать из КС и ГС, смешивая их в объемных соотношениях 1:1, и применять вместе с каменноугольным пропиточным маслом.

Определение физико-химических и технических показателей сланцевых смол

Для исследованных сланцевых смол и их смесей эти показатели определяли согласно требованиям ГОСТа на соответствующие маслянистые продукты [8].

Сланцевые смолы от 65 до 70% состоят из химически активных гетероатомных, главным образом, кислородсодержащих соединений, которые при обычном термическом фракционировании подвергаются полимеризации, поликонденсации и другим превращениям. В результате таких превращений происходят очень глубокие изменения физико-химических свойств и группового состава средних и высших фракций сланцевых смол [1], [2], [9], [14], что затрудняет их исследование. С целью максимального сохранения компонентов группового состава средних и высших фракций сланцевых смол в том виде, в котором они получают при конденсации парогазовой смеси в заводских аппаратах (при термической переработке сланцев) было применено холодное фракционирование [3], [4]. Такое фракционирование исходных смол проведено обработкой их *n*-гептаном и *n*-гексаном при температуре 20—21°C; при этом получалось 70—75% легкой смолы.

Для выделенных легких смол общие физико-химические показатели были определены согласно требованиям ГОСТа и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели	Единицы измерения	Смолы	
		камерная	генераторная
Удельный вес	d_{40}^{20}	1,034	0,985
Вязкость при 80°C	с-стокс	2,4	13,2
Механические примеси	Вес. %	0,0	0,0
Вспышка в открытом сосуде	°С	52	84
Гидроксильные группы	Вес. %	1,87	2,70
Групповой состав			
фенолы	"	3,96	15,20
карбоновые кислоты	"	0,026	0,370
основания	"	0,26	0,33
Элементарный состав			
углерод	"	87,65	83,97
водород	"	8,75	11,85
сера	"	0,46	0,80
кислород и азот	"	3,14	3,38
Фракционный состав (°С)			
выкипает до 200	Объемн. %	12	НТК
220	"	26	3
240	"	40	4
260	"	47	11
280	"	54	18
300	"	57	26
320	"	62	28
340	"	69	39
360	"	80	

Данные табл. 2 подтверждают меньшие величины вязкости и практически полное отсутствие механических примесей в легких КС и ГС холодного фракционирования по сравнению с исходными заводскими смолами. Они более соответствуют техническим требованиям на маслянистые пропиточные вещества. Групповой состав этих смол определяли хроматографическим методом в стеклянной ступенчатой колонке, наполненной адсорбентом силикагелем. В качестве вытеснителей-растворителей были применены н-гексан, бензол, этиловый спирт и ацетон. Все эти вещества имели квалификацию ЧДА. Фракции с близкими величинами коэффициентов преломления объединяли в группы, как указано в табл. 3.

Выходная хроматограмма для легкой генераторной смолы представлена на рис. 1, а для легкой камерной смолы — на рис. 2. На основании этих хроматограмм получены данные, характеризующие распределение групп соединений в этих смолах (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что групповой состав легкой камерной сланцевой смолы холодного фракционирования по содержанию ароматических соединений очень близок к составу каменноугольных пропиточных масел, а состав генераторной значительно отличается. Сушку и пропитку образцов и математическую обработку всех микологических данных проводили, в основном, способом, описанным П. И. Рыкачевым [7], с указанными ранее изменениями [10].

Микологические испытания проводили в течение 120 суток по методу ЦНИИМОДа [5] и видоизмененному — «Земля — древесина» [6], [10] с дереворазрушающими грибами *Coniophora cerebella* Sch. и *Merulius lacrymans* Schum. Грибы культивировали на древесине и предварительно проверяли на дереворазрушительную способность на образцах, про-

Таблица 3

Группа веществ	Смолы, вес. %			Растворитель	Интервал коэффициента преломления отбора фракций
	каменно-угольная	камерная	генераторная		
Парафиновые и нафтеновые углеводороды	7,0	4,5	10,0	н-гексан	1,37—1,48
Ароматические бензольного ряда и олефиновые углеводороды	1,6	9,5	6,5	Бензол	1,48—1,53
Ароматические углеводороды с конденсированными кольцами	78,0	60,0	23,5	Бензол	1,53—1,62
Кислородные соединения		26,0	60,0	Этиловый спирт	1,45—1,36
в том числе					
фенольные	3,5	4,0	28,0		
нейтральные кислородные	—	22,0	32,0		

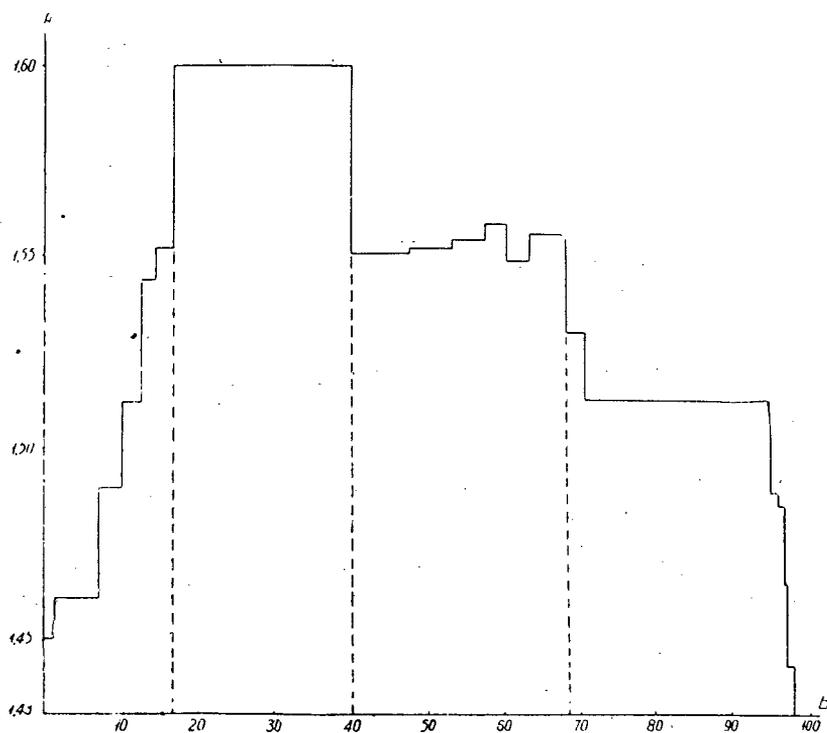


Рис. 1.

А — коэффициент преломления n_D^{20} ; Б — содержание группы веществ (вес. %)

питанных каменноугольным пропиточным маслом фунгитоксичности 0,40—0,42 и пентахлорфенолом фунгитоксичности 0,59—0,60. Определенные понятия фунгитоксичности дано нами ранее [13].

Для установления начальной фунгитоксичности смол было исследовано 668 пропитанных образцов древесины. Результаты представлены на рис. 3. Каждая точка на кривых этого рисунка — среднее из 16 исследованных образцов. При микологических исследованиях средняя макси-

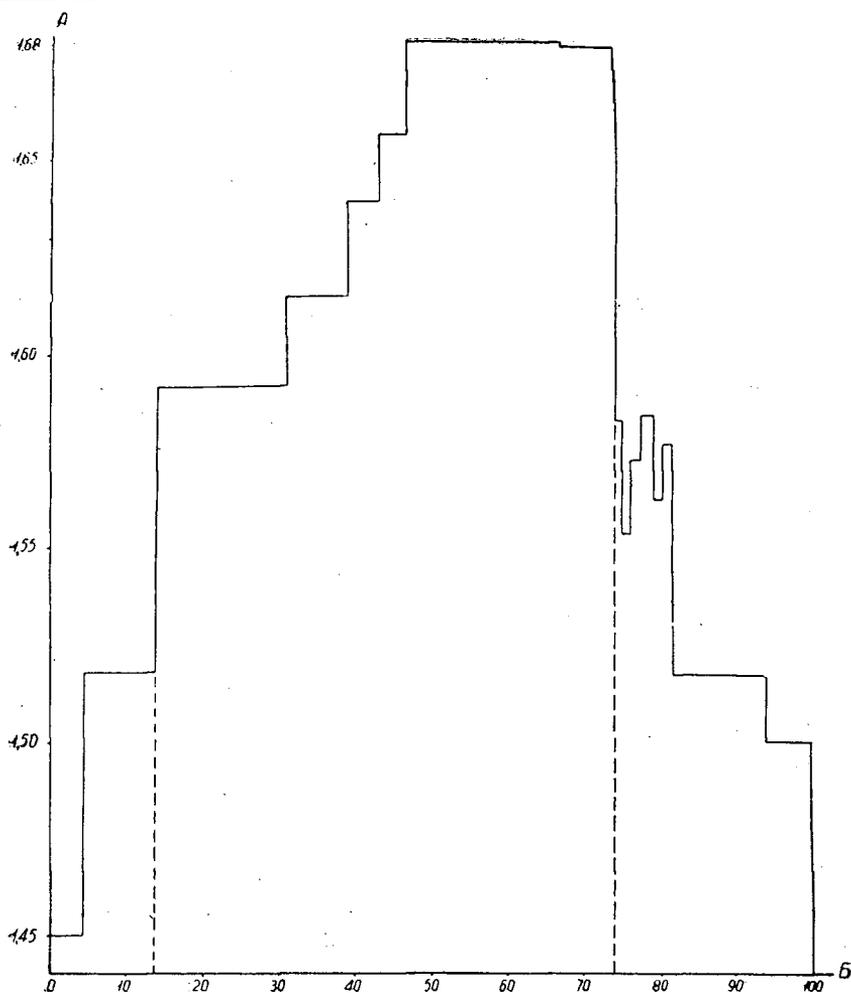


Рис. 2. Обозначения см. под рис. 1.

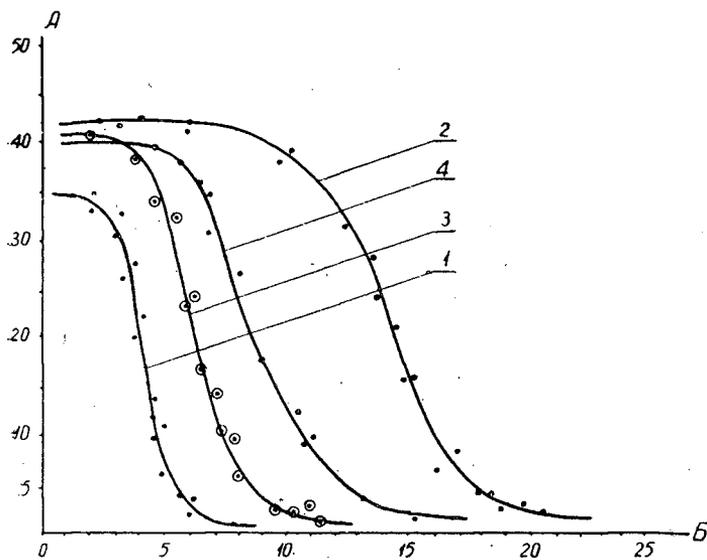


Рис. 3. Кривые начальной токсичности исследованных сланцевых смол.

А — потеря в весе образцов после микологических испытаний; Б — содержание смолы (вес. %); 1 — камерная смола; 2 — генераторная; 3 — смесь камерной и генераторной смол в соотношении 1:1; 4 — эта же смесь в соотношении 3:7.

мальная величина операционных потерь для образцов древесины, пропитанных КС, достигала 1,0, для ГС — 2,1, для смесей этих смол — 1,6%.

Из кривых, представленных на рис. 3, для исследованных смол рассчитаны средние величины начальных предельных доз и фунгитоксичности и представлены в табл. 4.

Таблица 4

Смол	Предельная доза, вес. %	Фунгитоксичность
Камерная	6,2	0,16
Генераторная	18,6	0,05
Смесь КС и ГС в соотношении 1:1	9,8	0,10
Смесь КС и ГС в соотношении 3:7	16,6	0,06
Легкая КС холодного фракционирования	5,6	0,17
Легкая ГС холодного фракционирования	18,2	0,05

Вымываемость (выщелачивание) смол и поглощаемость воды пропитанной древесиной определяли путем выдерживания образцов древесины, пропитанных этими смолами, в дистиллированной воде (сменяемой ежедневно) в течение 30 суток при температуре 18—20°C. После выщелачивания эти образцы в течение 120 суток исследовали на устойчивость к культуре дереворазрушающего гриба кониофора.

Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Древесина пропитанная	Содержание смолы до выщелачивания, вес. %	Вымываемость смолы, вес. %	Количество поглощенной воды, вес. %	Потеря в весе образцов после микологических испытаний, вес. %
Камерной смолой	6,3	14,2	122,6	18,6
	7,5	13,6	121,8	10,2
	8,5	13,1	120,6	5,0
	9,2	13,4	121,4	1,0
Смесью камерной и генераторной смол в соотношении 1:1	10,2	21,0	148,6	25,8
	11,6	23,2	146,5	18,2
	12,5	34,1	145,3	6,1
	13,4	25,6	145,2	1,6

При вымачивании непропитанных образцов в течение 30 суток они поглощали до 180% воды.

Из данных табл. 5 следует, что древесина, пропитанная КС, имеет среднюю предельную защищающую дозу* 8,8, а защищающую фунгитоксичность — 0,11. Смесь КС и ГС, полученная в соотношении 1:1, имеет защищающую дозу 12,9, а защищающую фунгитоксичность — 0,08.

Поглощаемость воды в виде паров (влагопоглощение) пропитанной древесиной определяли путем выдерживания образцов, содержащих 8—9 вес. % КС, 17—18% смеси КС и ГС (взятых в объемном соотношении 1:1) и контрольных образцов над водой в эксикаторе согласно ГОСТу 6336—52. Всего было исследовано 72 пропитанных и 36 контрольных образцов. Результаты представлены на рис. 4.

* Средняя предельная доза рассчитана как среднее из полной защиты древесины от разрушения и защиты на 95%, с учетом операционных потерь микологического исследования данной смолы. Величина, обратная предельной дозе, — фунгитоксичность.

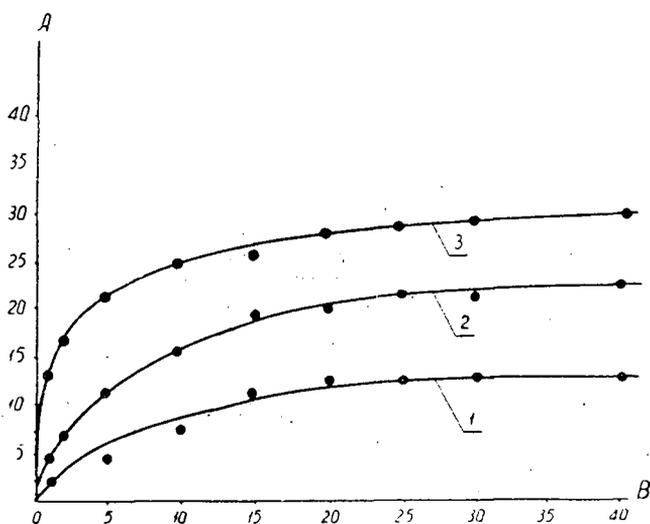


Рис. 4. Влагопоглощение непропитанной и пропитанной сланцевыми смолами древесины.

А — количество поглощенной воды; В — время суток; 1 — камерная смола; 2 — генераторная; 3 — контроль.

Из рис. 4 видно, что древесина, пропитанная КС и смесью КС и ГС (в соотношении 1:1), поглощает максимальное количество паров воды за период 15—20 суток. За это время древесина, пропитанная КС, поглощает воды почти в 2,5 раза меньше, а пропитанная смесью КС и ГС — в 1,5 раза меньше, чем непропитанная (контроль). Следовательно, гидрофобные свойства у древесины, пропитанной этой смесью, значительно меньше, чем у пропитанной КС.

Определение вязкости и токсичности смесей сланцевых смол с каменноугольным пропиточным маслом

Мы провели предварительные опыты с четырьмя смесями каменноугольного пропиточного масла с исходными КС и ГС. Назовем эти смеси А, Б, В и Г. КПМ по физико-техническим свойствам соответствовало ГОСТу 2770—59 и имело токсичность 0,42.

Смесь А была получена из КПМ и КС, взятых в соотношении (объемн. %) 50 : 50; смесь Б — из КПМ и ГС, взятых в соотношении 50 : 50; смесь В — из КПМ, КС и ГС в соотношении 50 : 25 : 25; смесь Г — из КПМ, КС и ГС в соотношении 50 : 15 : 35.

Из исследованных смесей требованиям ГОСТа 5430—50 по фунгитоксичности и вязкости удовлетворяют смеси А и В. Смесь Г практически соответствует требованиям по фунгитоксичности, но имеет вязкость 12,6 с-стокс при 80°C, что значительно превышает требования ГОСТа. С такой повышенной вязкостью смесь будет трудно проникать в древесину при пропитке. Смесь Б не соответствует требованиям ГОСТа по всем показателям.

Таким образом, исследованные камерная сланцевая смола и ее легкая фракция холодного фракционирования могут непосредственно применяться для антисептической пропитки древесины.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. И. Зеленин, О. С. Куратова. Труды ВНИИПСа, 2, 15, 1954, Гостоптехиздат. [2]. Н. И. Зеленин, К. Б. Чернышева. Труды ВНИИПСа, 5, 237, 1956; 6, 144, 1958, Гостоптехиздат. [3]. Н. И. Зеленин, К. Б. Чернышева, Е. А. Антропьянская, Н. И. Пышкина. Сборник трудов Института сланцев СНХ ЭССР, 8, 195, 1960, Гостоптехиздат. [4]. Н. И. Зеленин, К. Б. Чернышева, В. И. Смирнова. Сборник трудов Института сланцев СНХ ЭССР, 9, 172, 1960, Гостоптехиздат. [5]. В. В. Миллер, Е. И. Мейер. Труды Центрального научно-исследовательского института механической обработки древесины (ЦНИИМОД), 2 (8), 49, 1951, Гослесбумиздат. [6]. К. А. Попов, Н. И. Цешинская. Сборник Центрального института научных исследований и реконструкции железнодорожного пути НКТ, 17, 5, 1932, Гострансиздат. [7]. П. И. Рыкачев. Труды ЦНИИМОДа. 2 (8), 205, 1951; 4, 1958, Гослесбумиздат. [8]. Е. В. Старикова, Н. Е. Добрякова и др. Методы испытания нефтепродуктов, 1953, Гостоптехиздат. [9]. Ю. Хюссе. Химическая характеристика высших фракций генераторной смолы прибалтийских сланцев. Тарту, 1949. [10]. Г. Е. Шалтыко. ЖПХ. Изд. АН СССР, 33, 5, 1229, 1960; 34, 10, 2362, 1961; 34, 11, 2525, 1961. [11]. Г. Е. Шалтыко. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 4, 127, 1960; № 5, 121, 1961. [12]. Г. Е. Шалтыко. Труды Института лесохозяйственных проблем и химии древесины АН Латвийской ССР, 23, 81, 1961. [13]. Г. Е. Шалтыко. Труды ВНИИТа, 10, 189, 1961, Гостоптехиздат. [14]. K. L u t s. Der Estlandische Brenschiferkukersit. Seine Chemie, Technologie und Analyse. Tartu, 1934.

Поступила в редакцию
17 апреля 1964 г.

УДК 547.453.81

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

О ФРАКЦИОННОМ СОСТАВЕ
СУЛЬФАТНЫХ ОБЛАГОРОЖЕННЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗ
ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ**З. А. КОРЖИЦКАЯ**

Инженер-технолог

И. С. ХУТОРЩИКОВ

Доцент, кандидат технических наук

(Ленинградская лесотехническая академия)

Цель нашей работы — изучить фракционный состав небеленых и беленых целлюлоз, полученных из сибирской лиственницы сульфатной варкой с предварительной экстракцией древесины водой, разбавленными растворами серной кислоты и углекислого натрия.

Режимы обработок были выбраны на основе работ А. Ш. Коссого [3], Г. С. Косой [2], И. С. Хуторщикова; были проведены ориентировочные опыты. Кислый предгидролиз проводили 0,5%-ным раствором серной кислоты при температуре 120°C в течение 2 час, водный предгидролиз — при 160°C в продолжение 2 час; слабощелочную экстракцию проводили 0,5%-ным раствором соды при 160°C в течение 2 час. Во всех случаях подъем температуры до конечной составлял 1,5 час, модуль при обработке 1 : 5. Условия сульфатной варки были одинаковыми во всех случаях: расход щелочи 25% в ед. NaOH; сульфидность 25% в ед. NaOH; подъем температуры до 170°C — 3 час; стоянка на 170°C — 2 час. Для варки применяли смесь древесины, состоящую из 24 образцов лиственницы сибирской. Эта древесина содержит значительное количество водорастворимых веществ (15,1%). Поэтому после варки выход целлюлозы составлял 32—37%; наибольший — для целлюлоз со слабощелочной экстракцией; наименьший — для целлюлоз с кислым и водным предгидролизом. Различие в выходе можно объяснить глубиной предгидролиза. Количество веществ, экстрагируемых 0,5%-ным раствором соды, составляло 14,4%, в то время как для водного и кислого предгидролиза оно было выше (20—22%).

Химический состав небеленых целлюлоз представлен в табл. 1. Содержание ксилана и маннана было определено методом хроматографии на бумаге.

Из табл. 1 видно, что целлюлоза водного предгидролиза содержит наибольшее количество альфа-целлюлозы, меньше пентозанов и маннана, то есть она является химически более чистой, чем целлюлозы кислого предгидролиза и щелочной экстракции. Наибольшее количество пентозанов и маннана содержит в данном случае целлюлоза щелочной обработки. Целлюлоза кислого предгидролиза по химической чистоте зани-

Таблица 1

№ образца	Агент обработки	Жесткость, перманганатных единиц	Содержание лигнина, %	Медноаммиачная вязкость (0,7%-ный раствор), мпз	Зола, %	Содержание альфа-целлюлозы, %	Пентозаны, %	Ксилан, %	Маннан, %
1	H ₂ O	95	2,46	190	0,21	97,0	2,33	2,13	1,16
2	H ₂ SO ₄	92	2,41	180	0,22	95,7	3,21	2,81	1,94
3	Na ₂ CO ₃	97	2,72	210	0,37	95,2	3,95	3,91	3,46

мает промежуточное положение между целлюлозами водного предгидролиза и щелочной экстракции:

Полидисперсность целлюлоз изучали методом фракционного осаждения нитроэфиров целлюлозы [5]. Результаты фракционирования представлены в табл. 3. Если рассматривать распределение массы целлюлозы по узким интервалам СП для образцов 1, 2 и 3 (табл. 3), то в области СП до 2000 заметно некоторое сходство; в области СП свыше 2000 наблюдается различие. Содержание низкомолекулярных фракций с СП до 200 составляет 3,6—5,6%. Различия во фракционном составе вызваны, очевидно, разными видами предварительной экстракции древесины, так как условия варки во всех случаях одинаковы. Далее образцы небеленых целлюлоз были отбелены методом комбинированной отбелки по трем схемам, включающим хлорирование в одну и две ступени, добелку двуокисью хлора и холодное облагораживание 5%-ной NaOH в течение 1 мин. При этом ставили задачу выяснить, как указанные выше факторы влияют на фракционный состав.

Первая схема *a* — две ступени хлорирования со щелочной промывкой после каждой из них, гипохлоритная отбелка, добелка двуокисью хлора, кислотка. Вторая *б* — хлорирование, щелочная промывка, гипохлоритная отбелка, две ступени добелки двуокисью хлора, кислотка. Третья схема *в* — ступень хлорирования, щелочная промывка, гипохлоритная отбелка, холодное облагораживание 5%-ной NaOH, добелка двуокисью хлора, кислотка. Целлюлозы водного и кислого предгидролиза отбеливали по схемам *a* и *б*; целлюлозу щелочной экстракции по схемам *б* и *в*.

Химический состав беленых целлюлоз представлен в табл. 2. Данные табл. 2 показывают, что беленые целлюлозы содержат большое количество α -целлюлозы, пентозанов — 2—3% и удовлетворяют требованиям, предъявляемым к целлюлозам для вискозного и даже кордного волокна [4]. Обработка целлюлозы щелочной экстракции 3 в 5%-ной

Таблица 2

№ образца	α -целлюлоза, %	Пентозаны, %	Зола, %	Медноаммиачная вязкость (0,7%-ный раствор), мпз	Растворимость в цинкпентате натрия, %	Средняя СП (нитрат)	Ксилан, %	Маннан, %
1а	96,70	2,08	0,04	116	6,13	1240	2,03	0,83
1б	96,60	2,30	0,03	117	6,43	1265	1,88	0,89
2а	95,00	3,23	0,07	—	7,88	1090	2,77	1,49
2б	95,45	3,08	0,06	130	7,68	1050	2,77	1,64
3б	94,00	3,60	0,11	127	7,60	1240	3,50	2,76
3в	96,00	2,80	0,12	124	5,70	1135	2,96	3,17

Примечание. № 1, 2, 3 — соответственно целлюлозы водного, кислого предгидролиза и щелочной экстракции; *a*, *б* и *в* — обозначение схемы отбелки.

NaOH дает повышение α -целлюлозы на 2%. После отбелики целлюлоза водного предгидролиза является химически наиболее чистой.

Для беленых целлюлоз различных схем отбелики был определен фракционный состав по длине молекул. Данные фракционирования представлены в табл. 3.

Таблица 3

№ образца	Средняя СП (нитрат)	Количество целлюлозы (%) для интервалов СП							
		до 200	200-600	600-1200	1200-1500	1500-2000	2000-2500	Свыше 2500	Всего выше 1200
1	1335	5,6	15,0	28,0	12,0	17,0	13,0	9,4	51,4
2	1480	4,0	16,4	20,0	10,4	19,2	30,0	—	59,6
3	1580	3,6	12,0	24,4	10,0	13,2	17,2	19,6	60,0
1а	1240	5,2	20,4	24,0	12,8	14,4	18,8	6,0	50,4
1б	1265	7,6	20,4	21,6	13,6	14,4	22,4	—	50,4
2а	1090	6,0	14,4	32,4	19,6	12,4	15,2	—	47,2
2б	1050	5,6	17,2	36,0	13,2	12,8	15,2	—	41,2
3б	1240	5,6	14,8	33,6	11,2	24,8	10,0	—	46,0
3в	1135	9,6	20,4	30,8	12,4	16,4	10,4	—	39,2

Рассмотрим, как изменился фракционный состав целлюлоз в зависимости от схемы отбелики. Целлюлозы водного предгидролиза 1а и 1б имеют одинаковое количество фракций с СП > 1200, независимо от схемы отбелики. Однако распределение было различным в области степени полимеризации 2000—2500 и свыше 2500. Целлюлоза 1а имеет 6% фракции с СП > 2500, в то время как в целлюлозе 1б она разрушилась. Целлюлоза 1а содержит на 2,4% меньше фракций с СП до 200, чем целлюлоза 1б. Эти явления можно объяснить большим расходом хлора на гипохлоритную отбелику в целлюлозе 1б. Для целлюлоз кислого предгидролиза 2а и 2б имеется некоторое различие в области СП = 200—1500, хотя общее количество целлюлозы в этом интервале СП у обоих образцов было одинаковым (66,4%). Содержание низкомолекулярных фракций с СП до 200 в обоих образцах составляет 5,6—6,0%. Целлюлозы щелочной экстракции 3б и 3в отличаются друг от друга по фракционному составу. Целлюлоза 3в претерпела большее изменение при отбелике, чем целлюлоза 3б. Она содержит на 4% больше фракций с СП до 200. Количество высокомолекулярных фракций с СП > 1200 в целлюлозе 3б на 6,8% меньше, чем в целлюлозе 3в. Обработка 5%-ной NaOH резко снижает количество высокомолекулярных фракций (на 21%) с СП > 1200 в целлюлозе 3в и увеличивает содержание фракций в интервале СП = 200—1200 на 15% по сравнению с исходной небеленой целлюлозой 3. Эти результаты хорошо согласуются с данными Иванова и Фрица [6].

Если сравнить целлюлозы различных видов предгидролиза, но одной схемы отбелики (расход хлора почти одинаков), то видно, что целлюлоза водного предгидролиза претерпела меньшее изменение, чем целлюлозы кислого предгидролиза и щелочной экстракции. Целлюлоза 1б сохранила в основном цепи с СП > 1200; произошло некоторое перераспределение их в интервале СП = 1200—2500. Целлюлозы 2б и 3б значительно уменьшили содержание фракций в этой области (на 14—18%). Что касается содержания фракций в наиболее благоприятной для растворимых целлюлоз области СП = 600—1500, то целлюлоза 2б содержит в этом интервале 49,2%, целлюлоза 3б — 44,8%, а целлюлоза 1б — 35,2%. Таким образом, в результате отбелики целлюлоза кислого предгидролиза

имеет наиболее благоприятное молекулярно-весовое распределение. Далее следует целлюлоза щелочной экстракции и, наконец, целлюлоза водного предгидролиза.

Беленные целлюлозы были испытаны на реакционную способность к вискозообразованию методом фильтрации. Наиболее реакционноспособными оказались целлюлозы кислого предгидролиза. При расходе сероуглерода 110% и едкого натра 11% к весу волокна они фильтровались без замедления. Целлюлозы водного предгидролиза и щелочной экстракции (при расходе CS_2 120% и 12% NaOH) фильтровались с большим замедлением.

Главным фактором, определяющим физико-механические свойства вискозного волокна, является гомогенность целлюлозы [1], поэтому можно полагать, что целлюлоза кислого предгидролиза более пригодна для переработки на вискозное и кордное волокно, как менее полидисперсная, имеющая наибольшую фракцию в области $СП = 600-1500$ (50—52%).

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Е. И. Иванов. Журн. «Бумажная промышленность» № 9, 1958. [2]. Г. С. Косая. Труды ВНИИБа. Вып. 46, 1961, стр. 120—134. [3]. А. Ш. Коссой. Труды ЛТИ. Вып. 2, 1949, стр. 47—59. [4]. Н. А. Розенбергер. Журн. «Бумажная промышленность» № 4, 1959. [5]. М. М. Чочнева, Ю. В. Бресткин, Н. И. Никитин. ЖПХ, 35, вып. 9, 1962, 2025, 2031. [6]. Iwanow, Fritz. «Zellstoff u. Papier» № 1, 1962.

Поступила в редакцию
13 июля 1965 г.

УДК 662.712

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В. Н. ПИЯЛКИН

Младший научный сотрудник

А. К. СЛАВЯНСКИЙ

Профессор, доктор технических наук

(Ленинградская лесотехническая академия)

В процессе пиролиза древесины скорость нагрева — один из важных факторов, влияющих на качество и количество получаемых продуктов. Для изучения этого фактора мы применили метод термогравиметрии, основанный на фоторегистрации термических и весовых эффектов при нагревании образца. Этот метод дает возможность определить кинетические константы процесса пиролиза и его технологические особенности на основе кривой измерения веса и дифференциальной кривой нагревания. В отличие от калориметрического и термографического методов термогравиметрический позволяет проследить за изменением выхода угля и летучих продуктов в ходе пиролиза.

При проведении эксперимента мы использовали термовесовую установку УТА-1. Для создания бескислородной атмосферы в зоне разложения в термической блоке установки была герметизирована нижняя часть печного пространства и подведен инертный газ (гелий) с расходом 50 мл/мин, что позволило полностью избежать горения угля при проведении опытов.

Были исследованы опилки свежей березовой древесины влажностью 7%, отсеянные в пределах 0,5—0,25 мм. Величина навески для анализа составляла около 200 мг, а скорость нагрева g до конечной температуры 500°С в первом варианте равнялась 11,4, во втором — 26,6 и в третьем — 53,3 град/мин. На рис. 1, 2, 3 приведены соответствующие пирограммы, на которых кривая ΔT показывает разность температур образца и эталона, а ΔP — изменение веса образца в процессе нагрева.

Х. А. Исхаков [4], Р. Доманский и Ф. Рендош [12], а также В. Н. Сергеева [7] проводили термографическое исследование древесины при скорости нагрева около 10 град/мин с использованием в качестве эталона окисей магния или алюминия. Мы брали в качестве эталонного вещества порошок березового угля, прокаленного при 600°С в течение 8 час, так как по Бергу [1] эталон наряду с отсутствием термических эффектов при нагреве должен иметь почти одинаковую теплопроводность и теплоемкость с исследуемым веществом. Однако вид получаемых кривых дифференциальной разности температур (ΔT) соответствует данным, полученным упомянутыми авторами, то есть при температурах 100 и 300°С.

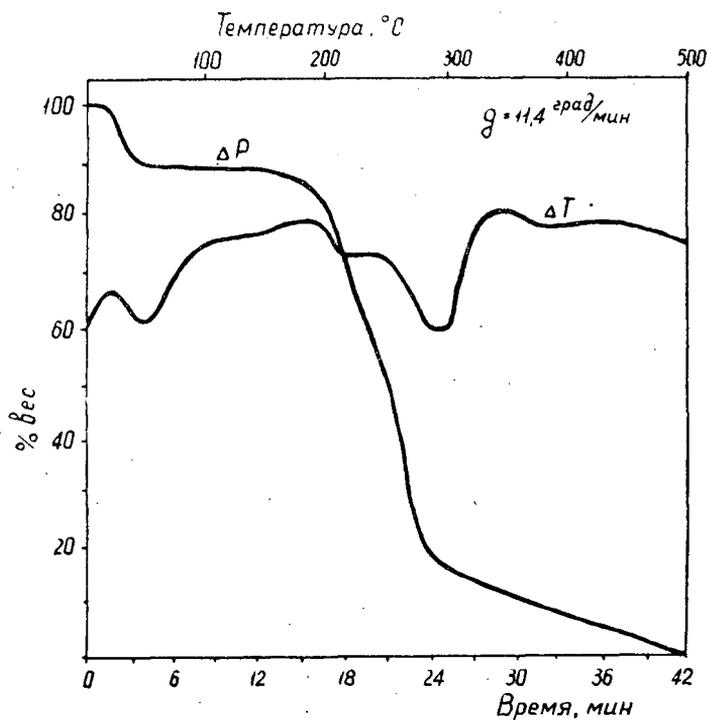


Рис. 1.

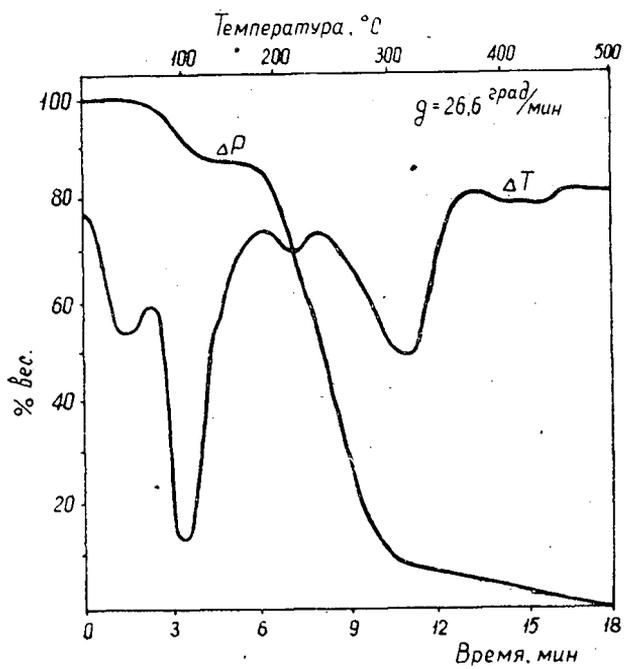


Рис. 2.

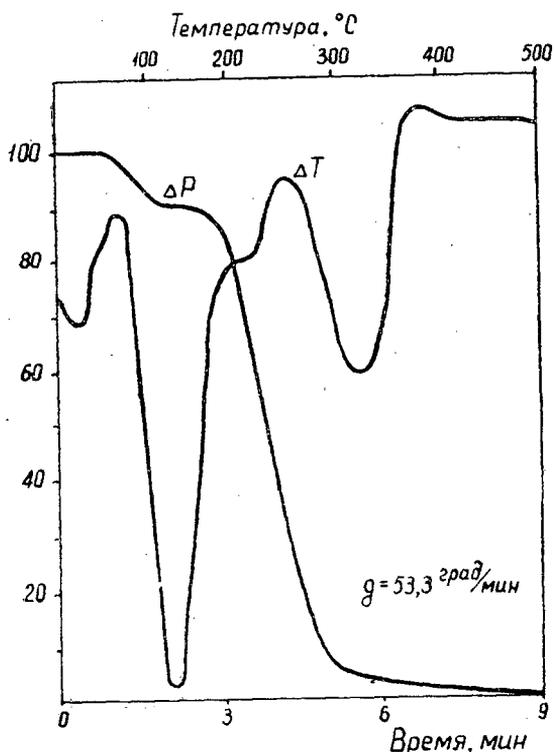


Рис. 3.

наблюдаются эндотермические пики, а при 70, 200, 240 и 320° С — экзотермические, что, по-видимому, позволяет считать указанные вещества равноценными в качестве эталона для проявления термоэффектов. Эндотермический пик при температуре ~ 100° С соответствует отгонке гигроскопической воды, а наличие эндотермы при 300° С большинство авторов объясняют значительными потерями тепла, с летучими продуктами разложения. По результатам наших опытов, где ΔT фиксируется одновременно с ΔP , видно, что указанное объяснение мало обосновано, так как изменение навески в этом температурном пределе происходит весьма незначительно. По-видимому, эндотермический эффект при этой температуре отображает начальный процесс перегруппировки молекул нелетучего остатка, сопровождающийся отрывом алифатических групп от ароматических ядер лигнина.

В настоящее время объяснить экзотермические пики при температурах около 200, 240 и 320° С еще трудно из-за сложности механизма разложения древесины. Можно сделать лишь следующие замечания.

Величина, а также температурный интервал проявления эндо- и экзотермических реакций при разложении древесины, по-видимому, зависит от соотношения значений энергии диссоциации связей (эндотермический эффект) и теплоты реакций рекомбинации образовавшихся радикалов. Когда теплота рекомбинации превышает энергию диссоциации, реакция сопровождается выделением тепла (экзотермический эффект). В настоящее время значения энергий диссоциации связей экспериментально определены для большого числа органических соединений [2], [6], [8], в то время как теплоты рекомбинаций почти полностью отсутствуют в литературе вследствие трудности получения свободных радикалов в более или менее зна-

чительных концентрациях (из-за их высокой реакционной способности). Предложенная В. Н. Кондратьевым [5] эмпирическая формула для определения теплот рекомбинации не учитывает структуру и активность радикалов. Поэтому о проявлении экзотермических эффектов на термограммах древесины пока можно сказать, что их величина и температура зависят от характера протекания реакций кислородсодержащих радикалов, так как с выделением тепла протекает только пиролиз топлива, содержащего не менее 15% кислорода [3].

Сопоставление температур проявления относительной величины термоэффектов при изменении скорости нагрева древесины в наших опытах показывает, что число эндо- и экзотермических эффектов остается постоянным, но температурные интервалы с увеличением скорости нагрева сдвигаются в сторону повышения температур. Чем выше скорость нагрева, тем больше температурный сдвиг. Одновременно с этим меняется и величина пика. Так, если при скорости нагрева 11,4 град/мин наиболее интенсивно протекают реакции с выделением тепла, соответствующие экзотермическому пику при $\sim 200^\circ\text{C}$, то при скорости нагрева в 26,6 град/мин константы скоростей реакций, соответствующие экзопикам при $\sim 200\text{--}240^\circ\text{C}$, уравниваются, а при 53,3 град/мин наблюдается преобладающее влияние реакций, протекающих при $\sim 240^\circ\text{C}$.

Таким образом, при изменении скорости нагрева древесины, по-видимому, меняется механизм разложения древесины, что подтверждается анализом соответствующих кривых ΔP . Кривые выхода летучих (рис. 1, 2, 3) показывают, что при температуре $\sim 100^\circ\text{C}$ из образца удаляется гигроскопическая вода (сушка). Последующее нагревание до $\sim 180^\circ\text{C}$ не вызывает каких-либо изменений древесины по весу. Дальнейший подъем температуры до 200°C сопровождается слабым выделением летучих продуктов, количество которых резко увеличивается при повышении температуры до 290°C . Затем интенсивность выделения резко падает и остается почти постоянной до конца пиролиза.

При медленной скорости нагрева ($g = 11,4$ град/мин) в период интенсивного термораспада наблюдаются две стадии выделения летучих продуктов (рис. 1) — с температурным интервалом от 200 до 250°C и от 250 до 290°C . При повышенных скоростях нагрева (рис. 2 и 3) это различие стирается полностью. Конечная температура основного выделения летучих продуктов несколько повышается при увеличении скорости нагрева. Так, если при 11,4 град/мин она составляет $280\text{--}290^\circ\text{C}$, то при 26,6 и 53,3 град/мин температурный интервал сдвигается соответственно до 300 и 310°C .

Изменение скорости нагрева древесины сказывается и на характере нелетучего остатка. Так, если при 11,4 град/мин после интенсивного выделения летучих продуктов при дальнейшем повышении температуры остаток все же выделяет до 20% от общего количества летучих, то при 26,6 и 53,3 град/мин эта величина составляет 10 и 6%.

Выход нелетучего остатка в зависимости от скорости нагрева показан в табл. 1.

Таблица 1

Скорость нагрева, град/мин	Навеска, г	Вес остатка, г	% угля к абс. сухой древесине
11,4	0,1878	0,0312	18,03
26,6	0,1818	0,0268	16,05
53,3	0,1888	0,0238	13,98

Кривая динамики выхода летучих (ΔP) позволяет определить суммарные константы процесса пиролиза древесины. Ряд авторов [10], используя данные термогравиметрии, определили значения кинетических констант процесса термического разложения различных полимеров и природных продуктов. Значения этих констант хорошо согласуются с величинами, найденными при изотермических условиях пиролиза.

Наиболее распространенный способ обработки пирогрaмм — метод Доула [9], применение которого все же ограничено определенным видом кривой ΔP . Более универсален и точен метод Горовица и Хитцгера [11], в котором энергия активации выражается формулой

$$E = \frac{\ln \ln \frac{W_0}{W_t} \cdot RT_s^2}{\Theta}, \quad (1)$$

где W_0 — начальный вес образца, г;
 W_t — вес образца при температуре t , г;
 T_s — температура разложения ($^{\circ}\text{K}$), при которой

$$\frac{W_s - W_k}{W_0 - W_k} = C_s; \quad (2)$$

W_k — конечный вес образца, г;
 W_s — вес образца при температуре T_s , г;
 C_s — эмпирическая величина, отражающая порядок реакции.
 В нашем случае $C_s = 0,368$, так как только при этой величине выполняется требование, что $\frac{d^2C}{dt^2} = 0$, то есть наиболее подходит реакция первого порядка;
 $\Theta = T - T_s, ^{\circ}\text{C}$.

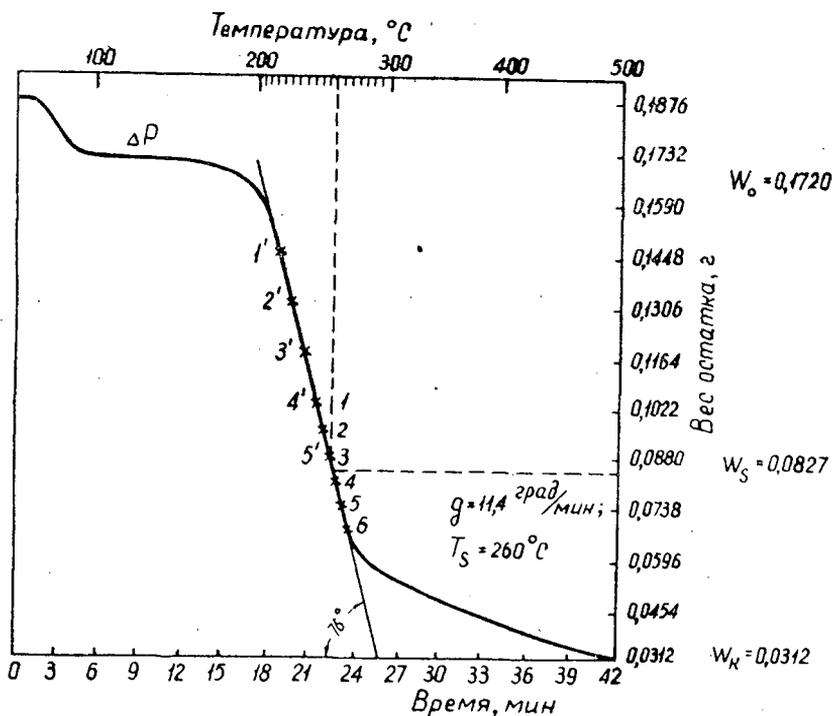


Рис. 4.

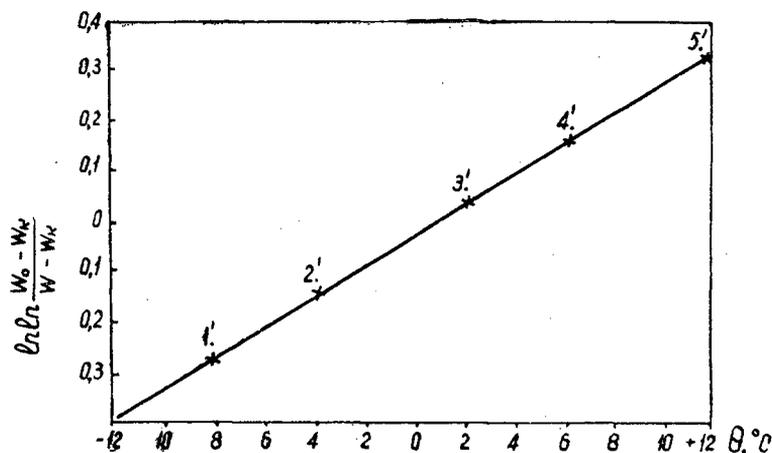


Рис. 5.

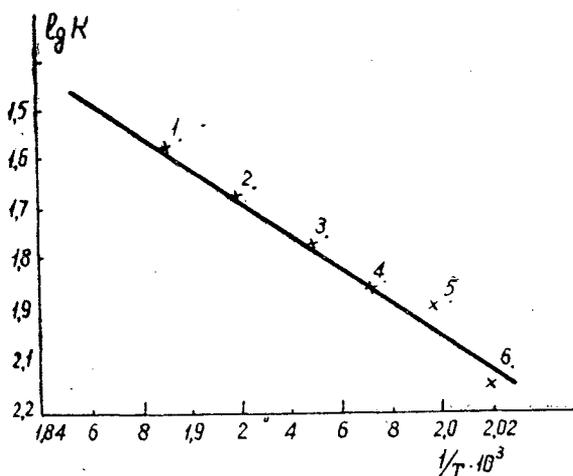


Рис. 6.

Определим значения кинетических констант пиролиза древесины (K) при скорости нагрева $11,4$ град/мин.

По кривой ΔP (рис. 4) находим значение W_0 (без влаги) и W_k , затем по формуле (2) определяем W_s . По найденному значению W_s графически находим величину T_s (пунктир).

На кривой ΔP берем произвольно шесть точек (1, 2, 3, 4, 5, 6) и находим соответствующие значения T , затем Θ , а также W_t (по ординате) и $\ln \ln \frac{W_0 - W_k}{W_t - W_k}$. Угол наклона (α) прямой Θ от $\ln \ln \frac{W_0 - W_k}{W_t - W_k}$ (рис. 5) отображает величину энергии активации. Угол α определяем способом наименьших квадратов, затем находим E из формулы (1), где $\frac{\ln \ln W_0/W_t}{\Theta} = \alpha$; тогда $E = \alpha \cdot RT_s^2 = 18600$ кал/моль:

Расчет величины энергии активации мы провели также по методу Доула.

Зависимость $\lg K$ от $\frac{1}{T}$ показана на рис. 6. Значение E находим по наклону кривой (16000 кал/моль).

Подобные расчеты были проведены для пиролиза со скоростью 26,6 и 53,3 град/мин. Результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Скорость нагрева, град/мин	Суммарная энергия активации, кал/моль	
	по Доулу	по Горовицу
11,4	16000	18600
26,6	18290	24600
53,3	20600	26000

Из табл. 2 видно, что при увеличении скорости нагрева значение величины суммарной энергии активации возрастает, что указывает на разрыв более прочных связей в составных компонентах древесины. Это в свою очередь приводит к увеличению выхода летучих продуктов.

Таким образом, мы экспериментально подтвердили, что с увеличением скорости нагрева возрастает выход летучих продуктов с одновременным повышением температурного интервала выделения, а также определили значение суммарной энергии активации процесса пиролиза при трех скоростях нагрева.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Л. Г. Берг. Введение в термографию. АН СССР, М., 1961. [2]. В. И. Веденев и др. Энергии разрыва химических связей. АН СССР, М., 1962. [3]. З. И. Жунко, Ю. В. Лаженици. Основы термической переработки топлива. М., 1964. [4]. Х. А. Исхаков. Труды II совещания по термографии, Казань, 1961. [5]. В. Н. Кондратьев. Свободные радикалы, активная форма вещества. АН СССР, М., 1960. [6]. Т. Коттрелл. Прочность химических связей. М., ИЛ, 1956. [7]. В. Н. Сергеева. Труды Института лесохозяйственных проблем. АН Латвийской ССР, вып. 12, 1959; вып. 21, 1960. [8]. У. Уоллинг. Свободные радикалы в растворе. М., ИЛ, 1960. [9]. С. D. Doule. I. Appr. Polymer Sci., № 5. 1961. [10]. R. T. Foby, C. I. Guare. I. Electrochim. Soc. 106, 1959. [11]. H. Horowitz, G. Metzgar. Anal. Chem. v. 35, № 10, 1963. [12]. Von Radislav Domansky, Frantisek Rendos. Holz als Roh und Werkstoffe № 12, 1962.

Поступила в редакцию
26 апреля 1965 г.

УДК 634.0.863

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УСКОРЕНИЯ ГИДРОЛИЗА
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ДРЕВЕСИНЫ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКА****О. А. ДМИТРИЕВА**

Доцент, кандидат технических наук

Н. П. ПОТАНОВА

Младший научный сотрудник

Г. П. ВАГЕР

Старший преподаватель

В. И. ШАРКОВ

Профессор, доктор технических наук

(Ленинградская лесотехническая академия)

Энергия ультразвуковых колебаний нашла применение в различных областях науки и техники, так как было обнаружено [2], [3], [5], [6], что в мощном ультразвуковом поле действуют силы, способные осуществлять разнообразные процессы. Так, например, ультразвуковые колебания влияют на полимеризацию и деполимеризацию веществ, гидролиз, образование эмульсий, реакции окисления, восстановления, гидрирования, процессы диффузии, коагуляции и др. [1], [2], [6], [7], [8], [11], [13].

Большой интерес представляют исследования, посвященные расщепляющему действию ультразвуковых колебаний на древесину и целлюлозу [6], [12], [14]. Было установлено, что ультразвуковые колебания способствуют ускорению диффузионных процессов. Это имеет особое значение для интенсификации ряда диффузионных гетерогенных процессов целлюлозно-бумажного и гидролизного производства [4].

*Выяснение возможности замены
термической обработки целлюлозы ультразвуковой*

Наши предыдущие исследования [9], [10] показали, что термическая обработка трудногидролизуемой целлюлозы в углеводородах, состоящих из додекана и изододекана ($C_{12}H_{26}$) и находящихся во фракциях керосина с температурой кипения $205-230^\circ$, значительно повышает ее гидролизуемость. Представлялось интересным выяснить, можно ли ускорить гидролиз трудногидролизуемой целлюлозы с помощью ультразвука, а также нельзя ли заменить термическую обработку в среде додекана ультразвуковой в той же среде.

Для этого навеску в $3-3,5$ г абс. сухой гидроцеллюлозы, полученной из еловой беленой сульфитной целлюлозы (кипячением в 10%-ной H_2SO_4 в течение 6 час) помещали в плоскодонную термостойкую колбу

на 500 мл, заливали додеканом с модулем 1 : 40 и оставляли стоять на 1,5—2 час при комнатной температуре, периодически перемешивая. Гидроцеллюлозу, пропитанную додеканом, обрабатывали ультразвуком в течение 24, 60 и 113 мин. Для получения ультразвуковых колебаний мы воспользовались ультразвуковым генератором LP чехословацкой фирмы «Laboratorni Pristroje» мощностью 400 вт и числом колебаний 1 мгц.

Методика работы на ультразвуковой установке сводилась к следующему: в масляную баню на кольцо кварцевой пластинки ультразвукового излучателя помещали термостойкую колбу с гидроцеллюлозой, пропитанной додеканом. Затем включали генератор и пропускали ультразвуковые волны. Температуру жидкости контролировали с помощью термометра, опущенного в колбу. Несмотря на то, что во время эксперимента была включена система водяного охлаждения масла, содержимое колбы довольно быстро нагревалось вследствие поглощения жидкостью ультразвуковой энергии.

При обработке гидроцеллюлозы ультразвуком температура через 10 мин поднялась до 82, а через 24 мин — до 103°С, после чего ультразвуковой излучатель автоматически выключился. В другом опыте при обработке в течение 60 мин температура вначале быстро поднялась до 95—96°С и далее не поднималась. Обработку гидроцеллюлозы ультразвуком в течение 113 мин проводили в два приема (через 58 и 55 мин). В этом случае температура поднималась так же, как и в предыдущих опытах.

По окончании обработки ультразвуком колбу с содержимым охлаждали и препараты гидроцеллюлозы отмывали от додекана горячим бензином, затем высушивали их в сушильном шкафу при 105°С и подвергали гидролизу 10%-ной серной кислотой в течение 4 час в колбе с обратным холодильником. В растворах определяли выход сахара по методу Бертрана. Для выяснения эффекта ультразвуковой обработки препаратов гидроцеллюлозы в тех же условиях гидролизу была подвергнута исходная гидроцеллюлоза, не облученная ультразвуком. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Время обработки гидроцеллюлозы ультразвуком, мин . .	0,0	24	60	113
Выход сахара, % от веса абс. сухой гидроцеллюлозы . .	5,1	7,0	8,6	8,8

Данные табл. 1 показывают, что выход сахара у препаратов гидроцеллюлозы, облученных ультразвуком, по сравнению с исходной повышается на незначительную величину. Таким образом, продолжительность ультразвуковой обработки не влияет существенным образом на гидролизуюемость препаратов гидроцеллюлозы.

Интересно было также проверить, как влияют ультразвуковые колебания на гидролизуюемость размолотой хлопковой целлюлозы, представляющей собой менее ориентированную, деструктурированную целлюлозу. Для этого абс. сухую хлопковую целлюлозу (гигроскопическую вату), размолотую на вибрационной мельнице системы НИИГСа, подвергли ультразвуковой обработке в течение 50 мин в условиях, аналогичных для гидроцеллюлозы. Полученный препарат отмывали от додекана, высушивали и подвергали гидролизу так же, как и препараты гидроцеллюлозы. Выход сахара составил 33,2% от веса абс. сухой размолотой целлюлозы. Для сравнения была подвергнута гидролизу также исходная размолотая целлюлоза. Выход сахара в этом случае — 33,1%.

Следовательно, и на гидролизуемость размолотой целлюлозы ультразвук практически не оказывает влияния.

Поскольку термическая обработка препаратов целлюлозы в среде додекана повышает их гидролизуемость [9], [10], то можно предположить, что сочетание ультразвуковой и последующей термической обработки приведет к превращению части трудногидролизуемой целлюлозы в легкогидролизуемое состояние. Для проверки этого предположения препараты гидроцеллюлозы, обработанные ультразвуком, были подвергнуты нагреву в среде додекана при 200°C в течение 3 час по методике, описанной ранее [9], [10]. Нагретые препараты были отмыты от додекана бензином, как указано выше, и подвергнуты гидролизу.

Для сравнения исходную гидроцеллюлозу подвергли термической обработке и затем гидролизу в аналогичных условиях. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Время обработки гидроцеллюлозы ультразвуком, мин . . .	0,0	24	60	113
Выход сахара после термической обработки, % от веса абс. сухой целлюлозы	17,9	18,6	19,1	20,1

Данные табл. 2 показывают, что сочетание ультразвуковой и последующей термической обработок не привело к заметному превращению трудногидролизуемой целлюлозы в легкогидролизуемое состояние.

Таким образом, проведенные эксперименты на ультразвуковом генераторе показали, что обработка целлюлозы ультразвуком в среде углеводородов при температуре около 100°C не оказывает существенного влияния на способность облученных препаратов гидролизиться в разбавленной серной кислоте. Аналогичное явление имело место и при последующей термической обработке облученных образцов.

Использование ультразвука для ускорения гидролиза целлюлозы и древесины концентрированной серной кислотой

Как указывалось ранее [6], ультразвуковые колебания способствуют ускорению диффузионных процессов. Интенсификация этих процессов обуславливается ультразвуковой кавитацией, а также воздействием на реагирующее вещество механических сил, вызывающих перемешивание, ускорение перемещения частиц, возникновение переменного звукового и радиационного давлений и т. д. Исходя из этих положений, можно было предполагать, что ультразвуковые колебания ускорят процесс гидролиза целлюлозы и древесины концентрированными кислотами.

Для исследования была взята абс. сухая сульфитная целлюлоза, нарезанная в виде кусочков с размером ребра 2 см. Ее помещали в стеклянный термостойкий стакан, заливали 65%-ной серной кислотой (обладающей способностью растворять целлюлозу) с гидромодулем 1 : 7 и подвергали ультразвуковой обработке.

Поскольку при ультразвуковой обработке содержимое стакана быстро нагревалось, а при температурах выше 50°C в среде концентрированной серной кислоты начиналось обугливание целлюлозы, то обработку периодически прекращали и стакан с препаратом охлаждали в проточной воде до $15-17^{\circ}\text{C}$. После охлаждения на целлюлозу опять действовали ультразвуком. Эти операции поочередно повторяли не-

сколько раз. Общее время обработки ультразвуком равнялось 40 мин. Затем содержимое стакана переносили в колбу, разбавляли водой до концентрации 8% H_2SO_4 и проводили инверсию в течение 5 час на водяной бане с обратным холодильником. Затем раствор фильтровали и в нем определяли сахар.

Аналогичной ультразвуковой обработке в 65%-ной серной кислоте с модулем 1 : 2 был подвергнут другой образец сульфитной целлюлозы.

Выделение тепла в ультразвуковом поле усложняет исследование действия ультразвука на целлюлозу. Поэтому для выяснения влияния только ультразвуковых колебаний на гидролизуемость сульфитной целлюлозы в 65%-ной серной кислоте были поставлены контрольные опыты без ультразвука с таким же по продолжительности нагревом на водяной бане при максимальной температуре, равной 50° С. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ препарата	Время обработки ультразвуком, мин	Время обработки при 50°С, мин	Время обработки при комнатной температуре	Выход сахара, % от веса абс. сухой целлюлозы
1	40	0,0	31 мин 51 сек	69,4
Контроль	0,0	40	31 " 51 "	56,2
2	43	0,0	22 " 37 "	38,8
Контроль	0,0	43	22 " 37 "	33,7

Из табл. 3 видно, что выход сахара после гидролиза у обработанных ультразвуком препаратов целлюлозы выше, чем у необработанных.

Можно предположить, что предварительное набухание целлюлозы в 65%-ной H_2SO_4 будет способствовать ускорению диффузионных и других процессов, происходящих под действием ультразвуковых волн. Поэтому сульфитную целлюлозу (2 образца) заливали серной кислотой (с модулями 1 : 2 и 1 : 3,6) и оставляли стоять при периодическом перемешивании на 36 мин 25 сек и 81 мин 20 сек. Набухшие препараты целлюлозы обрабатывали ультразвуком так же, как и целлюлозу без предварительного набухания.

Контрольные опыты с предварительно набухшей целлюлозой проводили при нагревании на водяной бане, причем температурный режим соответствовал нагреву при обработке целлюлозы ультразвуком.

Препараты набухшей целлюлозы, обработанные ультразвуком и необработанные, подвергали инверсии и в гидролизатах определяли содержание сахара. Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

№ препарата	Время набухания	Время обработки ультразвуком, мин	Время обработки при нагреве без ультразвука, мин	Время обработки при комнатной температуре	Выход сахара, % от абс. сухой целлюлозы
1	36 мин 25 сек	60	0,0	28 мин 47 сек	44,8
Контроль	36 " 25 "	0,0	60	28 " 47 "	43,3
2	81 " 20 "	86	0,0	37 " 48 "	59,4
Контроль	81 " 20 "	0,0	86	37 " 48 "	56,7

Данные табл. 4 показывают, что предварительное набухание целлюлозы перед ультразвуковой обработкой не дало ожидаемых результатов: выход сахара повышается на незначительную величину (2—3%).

Сопоставление полученных данных об ускорении гидролиза и вывода сахара из целлюлозы в условиях ультразвуковой обработки с данными без применения этой обработки позволяет сделать вывод о незначительном интенсифицирующем действии ультразвуковых колебаний на эти процессы в примененных нами условиях.

Полученные результаты целесообразно было проверить на древесине, так как в ее толще диффузионные процессы могли иметь большое значение. Для этого была взята древесина березы в виде кубиков с размером ребер $1 \times 1 \times 1$ см. Кубики были помещены в стакан, залиты 65%-ной H_2SO_4 с гидромодулем 1:2 и обработаны ультразвуком в условиях, аналогичных обработке целлюлозы. Все препараты были инвертированы, и в гидролизатах был определен сахар. Результаты приведены в табл. 5.

Таблица 5

№ препарата	Время обработки ультразвуком, мин	Время обработки при нагревании без ультразвука, мин	Время обработки при комнатной температуре	Выход сахара, % от веса абс. сухой древесины
1	46	0,0	30 мин 45 сек	28,5
Контроль	0,0	46	30 " 45 "	26,9
2	45	0,0	23 " 15 "	27,3
Контроль	0,0	45	23 " 15 "	26,0

Из данных табл. 5 видно, что ультразвуковая обработка древесины березы в принятых нами условиях не ускоряет существенным образом процесс гидролиза.

Предварительное набухание древесины березы в 65%-ной H_2SO_4 с последующей ультразвуковой обработкой в аналогичных с целлюлозой условиях также не ускорило процесс гидролиза древесины.

Мы считаем, что необходимо продолжить исследования в этом направлении с применением ультразвука на других частотах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. О. И. Бабиков. Ультразвук и его применение в промышленности. М., 1958.
- [2]. Л. Бергман. Ультразвук и его применение в науке и технике. ИЛ, 1957.
- [3]. Ю. Борисов, Л. Макаров. Ультразвук в технике настоящего и будущего. Изд. АН СССР, 1960.
- [4]. А. М. Гинстлинг, А. П. Онохин. Исследование влияния ультразвуков на некоторые диффузионные процессы целлюлозного производства. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности. Отчет по теме № 207. 1957—1958 гг. [5]. Л. Д. Розенберг. Применения ультразвука. Изд. АН СССР, 1957.
- [6]. В. М. Сперанский, А. Б. Ареников. Звукохимия и целлюлоза. Гослесбумиздат, 1961.
- [7]. Е. Тиме. Повышение вязкости растворов высокомолекулярных веществ в ультразвуковом поле, Phys. Z. S., 39, 384, 1938.
- [8]. М. А. Хенох. Воздействие ультразвука на растворы углеводов. ЖОХ, т. 25, вып. 5, стр. 928, 1955.
- [9]. В. И. Шарков, О. А. Добуш, Н. Г. Кучина. ЖПХ. Т. XXIX, стр. 927, 1956.
- [10]. В. И. Шарков, О. А. Добуш. ЖПХ. Т. XXIX, стр. 1411, 1956.
- [11]. И. Е. Эльпинер, А. В. Сокольская. Действие ультразвуковых волн на углеводы. Журн. «Биофизика», т. 2, вып. 2, 225—233, 1957.
- [12]. S. Buckingham. Paper Ind., 18, 749, 1936.
- [13]. E. W. Flosdorf, L. A. Chambers. Journ. Amer. Chem. Soc. 55, 3051, 1933.
- [14]. N. Gralen, S. Berg. Journ. Polymer Sci, 6, 503, 1951.

ИДК 634.0.813.11

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЕСА ЛИГНИНОВ
МЕТОДОМ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ СКОРОСТЕЙ****О. М. СОКОЛОВ**

Аспирант

Б. Д. БОГОМОЛОВ

Доцент, кандидат технических наук

Э. В. ВЕСЕЛОВА

Инженер

(Проблемная лаборатория и кафедра химии древесины,
целлюлозы и технологии гидролизного производства
Архангельского лесотехнического института)

Работы последних лет показали, что лигнин с успехом может применяться в производстве пластмасс, каучуков, резины, кожи, связующих и других полимерных материалов. Особенно перспективен в этом отношении сульфатный лигнин [3], [8]. Основные физико-химические и механические свойства полимеров определяются величиной среднего молекулярного веса данного образца и характером функции распределения по молекулярным весам. Применение лигнина в промышленности делает актуальным изучение влияния молекулярного веса лигнина на физико-химические свойства каучуков, резины, пластмасс и других материалов. Однако до сих пор не существует надежного метода определения молекулярных весов различных препаратов лигнина. Величины молекулярных весов, приводимые разными авторами, весьма противоречивы (см. табл. 1). Это можно частично объяснить широкой полидисперсностью препаратов лигнина и тем, что диапазон молекулярных весов, характерный для образцов лигнина, не укладывается в пределы «разрешающей способности» одного какого-либо метода. Криоскопический, эбулиоскопический и осмометрический методы характеризуют преимущественно низкомолекулярную часть нефракционированного образца лигнина, а методы светорассеивания и ультрацентрифуги (метод седиментационных скоростей) — его высокомолекулярную составляющую. Поэтому наиболее правильными следует считать результаты, полученные для фракционированных образцов лигнинов.

При определении молекулярных весов лигнинов необходимо решить вопрос о том, какой метод следует использовать для получения средних молекулярных весов, которые явились бы представительными для большей части макромолекул образца [14]. Эту задачу, вероятно, можно решить, используя различные методы анализа с помощью ультрацентрифуги.

В данном сообщении приведены результаты определений молекулярного веса различных препаратов лигнина методом седиментационных скоростей.

Экспериментальная часть

Эксперименты выполнены на венгерской ультрацентрифуге типа G-110, оборудованной оптической системой Фильпота—Свенссона. Скорость седиментации и молекулярный вес рассчитывали по формулам, предложенным Сведбергом [23]

$$s = \frac{dx/d\tau}{\omega^2 \cdot x} = \frac{d \ln x}{\omega^2 d\tau}; \quad (1)$$

$$M = \frac{s \cdot RT}{D \cdot (1 - v\rho)}, \quad (2)$$

где s — скорость седиментации;
 M — молекулярный вес;
 x — расстояние от оси вращения до движущейся границы — чистый растворитель — раствор;
 ω — угловая скорость;
 τ — время;
 R — газовая постоянная;
 T — абсолютная температура;
 D — коэффициент диффузии;
 v — удельный парциальный объем растворенного вещества;
 ρ — плотность растворителя.

Измерения проводили на увеличенных в 6—20 раз (по отношению к истинному расстоянию между линиями сравнения) фотографиях с помощью микрокомпаратора МИР-12. Вычислив расстояния x от центра вращения до середины движущейся границы для нескольких промежутков времени τ от начала седиментации в соответствии с уравнением (1), строили график функции $\ln x$ от τ и по наклону прямой определяли константу седиментации s_t . К стандартным условиям величину s_t приводили по формуле, данной Сведбергом [23]

$$s_{20} = s_t \cdot \frac{\eta_t}{\eta_{20}^0} \cdot \frac{1 - v_{20} \cdot \rho_{20}^0}{1 - v_t \cdot \rho_t}, \quad (3)$$

где s_t , s_{20} — скорость седиментации при температурах t и 20°C соответственно;
 η_t , η_{20}^0 — вязкость среды (при температуре t) и сравнительного растворителя (при 20°C);
 v_t , v_{20} — удельный парциальный объем растворенного вещества при температурах t и 20°C соответственно;
 ρ_t , ρ_{20}^0 — плотность растворителя (при температуре t) и сравнительного растворителя (при 20°C).

Во всех экспериментах в качестве растворителя применяли пиридин, в качестве сравнительного растворителя принимали воду.

При расчете удельного парциального объема использован определенный по методике Н. Д. Прянишникова [7] удельный вес лигнина, равный 1,39 г/см³, что находится в соответствии с данными (1,30—1,45 г/см³), приведенными другими авторами [1], [6].

Из литературных данных [15], [17], [22] известно, что в таких растворителях как пиридин, водная щелочь, концентрационная зависимость гидродинамических параметров лигнина (D , M , S , $[\eta]$) вообще отсутствует или очень невелика. Поэтому для относительно небольших концентраций (0,1—0,3%) растворов лигнина в пиридине скорость седиментации при 20°C (s_{20}) можно принять равной скорости седиментации при бесконечном разбавлении (s_0). Определить седиментационные коэффициенты в широком диапазоне концентраций с последующей экстраполяцией к бесконечному разбавлению мешала интенсивная окраска растворов лигнина. При увеличении концентрации лигнина до 0,3% растворы становились настолько темными, что невозможно было наблюдать изображение нити на фотопластинке. Используя свегадсорбционный метод [23], вероятно, можно провести эти эксперименты. Пока же отметим, что увеличение концентрации от 0,129 до 0,190% не привело к существенному изменению скорости седиментации (см. табл. 2 № 1—3).

Для вычисления молекулярного веса по уравнению (2) необходимо иметь значение коэффициента диффузии D для данной системы полимер — растворитель.

Из-за отсутствия диффузиометра нельзя было поставить эксперименты по определению D , поэтому значения молекулярного веса лигнина ориентировочно рассчитывали, используя D для диоксанлигнина в пиридине [22], предварительно пересчитав значения D_{25} для температуры 20°C по формуле

$$D_{20} = D_{25} \cdot \frac{293}{298} \cdot \frac{\eta_{25}^0}{\eta_{20}^0}. \quad (4)$$

Скорость седиментации и ориентировочный молекулярный вес были определены для ряда образцов лигнина промышленных и лабораторных сульфатных варок и других видов лигнина. Скорость седиментации для нефракционированных образцов тиолигнинов изменялась в пределах от 0,5 до 2,85 с.

Определенные нами значения молекулярных весов отдельных фракций сульфатных лигнинов находятся в пределах < 3000 — 73000 , что несколько шире значений, опубликованных в последнее время Линдбергом с сотрудниками [19]. Скорости седиментации для диметилсульфоксидного лигнина [2], феноллигнина, активированных и фракционированных образцов сульфатного лигнина приведены в табл. 2. Химическая характеристика упомянутых лигнинов приведена в табл. 3.

По данным метода скорости седиментации можно судить не только о величине скорости седиментации, но и о полидисперсности образца, которая характеризуется формой пика на седиментационной диаграмме. Форма пика — прообраз дифференциальной кривой распределения по молекулярным весам. Чем острее и уже пик, тем меньше полидисперсность образца (сравн. рис. 1, а и б). Из рис. 1 видно, что образец диме-

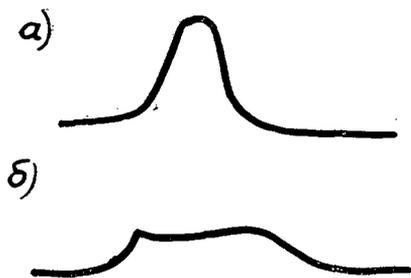


Рис. 1. Увеличенные изображения пиков, образовавшихся при центрифугировании лигнина:

а — образца Л-61 в пиридине ($n = 50\,000$ об/мин, $\tau = 124$ мин); б — диметилсульфоксидного лигнина в пиридине ($n = 50\,000$ об/мин, $\tau = 118$ мин).



Рис. 2. Седиментационные диаграммы фракции лигнина ПВ-12-61, не растворимой в кипящем спирте и пиридине ($n = 50\,000$ об/мин).

тилсульфоксидного лигнина обладает очень широкой полидисперсностью, тогда как лигнин Л-61 показал сравнительно небольшую полидисперсность. Для образца лигнина, не растворимого в кипящем спирте, произошло разделение пика (рис. 2), что говорит о наличии в этом образце двух различных по молекулярному весу составных частей.

В литературе приведены данные о чрезмерно широкой полидисперсности лигнина [4], [14], [16], [17], настолько широкой, что нижняя граница молекулярного веса лежит за пределами, которые способна улавливать ультрацентрифуга при применении метода седиментационных скоростей, а верхняя может проявиться только при небольших скоростях вращения. Поэтому представлялось интересным проследить, какая часть лигнина учтена при определении молекулярного веса. Визуальные наблюдения за седиментационными диаграммами наводят на мысль, что образовавшаяся граница существует не между чистым растворителем и раствором данной концентрации, а между раствором низкомолекулярной фракции, не участвующей в седиментации, и раствором данной концентрации. Это

Таблица 2

№ п/п	Образцы	Температура, °С	Скорость седиментации $\times 10^3$, сек	Коэффициент диффузии $\times 10^6$, слг.сек ⁻¹	Молекулярный вес	Исходная концентрация, %	Концентрация, определенная по расчету, %	Количество лигнина, участвующее в седиментации, %
1	Опытно-промышленные сульфатные лигнины							
2	Средняя проба опытно-промышленной партии сульфатного лигнина Л-61, нефракционированная	300,8	1,37	0,87	13500	0,123	0,103	83
3	"	293,3	1,47	0,87	14400	0,190	0,148	78
4	"	296,6	1,34	0,87	13200	0,138	—	—
5	То же, фракция 1	294,0	2,78	0,66	36000	0,200	0,175	88
6	" 2	296,1	2,35	0,70	29000	—	—	—
7	" 3	299,1	1,81	0,83	18500	0,200	0,159	80
8	" 4	299,1	1,55	0,85	15000	0,200	0,174	87
9	" 5	297,4	1,03	1,60	3000	0,175	0,089	45
	Фракция средней пробы опытно-промышленной партии сульфатного лигнина ПВ-12-61, не растворимая в кипящем спирте							
	Пик I	293,3	2,22	0,73	26000			
	Пик II	293,3	4,50	0,53	73000		0,146	75
10	Фракция средней пробы опытно-промышленной партии сульфатного лигнина ПВ-12-61, не растворимая в холодном спирте							
11	"	293,3	2,09	0,73	24400	0,195	0,186	96
12	Сульфатный лигнин Л-X	298,3	2,11	0,73	25000	0,195	0,189	97
	"	291,6	2,42	0,69	30000	0,184	0,107	58
	Сульфатные лигнины ступенчатых лабораторных варок							
13	Лигнин варки 19-I	292,9	0,97	1,60	3000	0,184	0,106	58
14	" 19-II	292,5	1,38	0,88	13500	0,184	0,133	73
15	" 19-III	292,0	1,77	0,78	19500	0,184	0,176	96
16	" 20-I	292,8	2,76	0,67	35000	0,193	0,100	52
17	" 20-II	293,0	3,80	0,55	59000	0,198	0,047	24
18	" 20-III	292,8	2,05	0,73	24000	0,184	0,070	38
	Активированные сульфатные лигнины							
19	Лигнин 649	285,4	1,89	0,77	21000	0,195	0,086	44
20	" 647	287,2	2,76	0,67	35000	0,198	0,097	49
21	" контрольный	288,1	1,61	0,82	17000	0,178	0,055	31

Продолжение табл. 2

№ п/п.	Образцы	Температура, °С	Скорость седиментации $\times 10^{-3}$, сек	Коэффициент диффузии $\times 10^6$, см ² · сек ⁻¹	Молекулярный вес	Исходная концентрация, %	Концентрация, определенная по расчету, %	Количество лигнина, участвующее в седиментации, %
Фенолированные сульфатные лигнины								
22	Лигнин 2-100	289,5	0,83	1,80	3000	0,226	0,121	54
23	" 6-100	288,7	0,59	1,60	3000	0,200	0,112	56
24	" 18-100	287,9	0,90	1,60	4800	0,200	0,086	43
Конденсированные сульфатные лигнины								
25	Лигнин I	289,6	2,13	0,73	25000	0,204	0,091	45
26	" II	290,7	1,52	0,84	15500	0,202	0,079	39
27	" III	290,7	1,92	0,75	22000	0,256	0,155	60
28	Диметилсульфоксидный лигнин	292,5	1,43	0,87	14000	0,200	0,136	68

Примечание. Все эксперименты проведены при скорости 50 000 об/мин в растворе пиридина.

Таблица 3

№ п/п.	Образцы	Гидроксильные группы		Карбоксильные группы, фенольные, энольные гидроксильные, %		Карбоксильные группы		Фенольные, энольные гидроксильные (по разности)		Метоксили	
		%	мг-экв/г	%	мг-экв/г	%	мг-экв/г	%	мг-экв/г	%	мг-экв/г
1	Лигнин Л-61	10,18	5,99	6,07	3,60	0,80	8,96	5,27	11,55	3,72	
2	Фракция лигнина ПВ-12-61, не растворимая в холодном спирте			5,00	2,11	0,47	7,70	4,53	12,58	4,04	
3	Фракция лигнина ПВ-12-61, не растворимая в кипящем спирте			5,01	1,35	0,30	8,01	4,75	13,43	4,33	
4	Диметилсульфоксидный лигнин	9,66	5,68	2,95	1,35	0,30	4,50	2,65	14,39	4,64	
5	Лигнин варки 19-I	10,45	6,15	3,83	3,96	0,88	5,01	2,95	13,76	4,44	
6	" 19-II	10,21	6,00	4,52	4,50	1,00	5,98	3,52	12,94	4,17	
7	" 19-III	11,37	6,69	5,22	5,13	1,14	6,94	4,08	10,80	3,48	
8	" 20-I	8,32	4,89	4,52	3,55	0,79	6,35	3,74	10,33	3,38	
9	" 20-II	9,36	5,50	5,54	4,05	0,90	7,85	4,62	9,52	3,07	
10	" 20-III	8,34	4,90	6,86	4,09	0,91	10,11	5,95	9,54	3,08	

Примечание. Расчет функциональных групп произведен на абсолютную, обеззоленную и освобожденную от смоллиств, жирных и водорастворимых веществ навеску лигнина. Химический анализ выполнен сотрудником Проблемной лаборатории А. И. Александровой и Н. И. Вакориной.

определяется по слабой окраске участка на седиментационной диаграмме между мениском и пиком. Окраска этого участка обусловлена наличием в этой области кюветы молекул лигнина, не способных седиментировать при данных условиях. Кроме того, часть лигнина, имеющая относительно высокий молекулярный вес, может быстро осесть на дно. При работе с низкими концентрациями исследуемых растворов эта высокомолекулярная фракция, составляющая небольшую часть всего лигнина, может остаться незамеченной (в силу ограниченной способности прибора определять низкие концентрации). Часть лигнина, проявившая себя в данном опыте, может быть определена измерением площади пика.

Площадь пика связана с концентрацией следующим уравнением [11], [23]:

$$c_0 = \frac{A \cdot \left(\frac{x_\tau}{x_0}\right)^2}{\alpha \cdot K_r \cdot K_b \cdot \text{ctg } \varphi}, \quad (5)$$

в котором

$$c_0 = c_\tau \cdot \left(\frac{x_\tau}{x_0}\right)^2; \quad (6)$$

$$c_\tau = \frac{1}{\alpha \cdot K_r \cdot K_b \cdot \text{ctg } \varphi} \cdot \int_{x_2}^{x_1} Y dX = \frac{A}{\alpha \cdot K_r \cdot K_b \cdot \text{ctg } \varphi}, \quad (7)$$

где c_τ — концентрация растворенного вещества в области «плато» в момент времени τ от начала седиментации;
 c_0 — исходная концентрация растворенного вещества;
 α — инкримент показателя преломления; dn/dc ;
 K_r — горизонтальное увеличение *;
 K_b — вертикальное увеличение;
 φ — угол наклона нити по отношению к горизонтали;
 Y, X — ордината и абсцисса соответственно на увеличенной седиментационной диаграмме;
 x_0, x_τ — расстояния от оси вращения до мениска и до движущейся границы соответственно в момент времени τ ;
 x_1, x_2 — расстояния от оси вращения до области кюветы, где $C = 0$ и $C = \text{const}$ соответственно;
 A — площадь, ограниченная дифференциальной кривой градиента показателя преломления и базисной линией в момент времени τ .

Инкримент показателя преломления для системы лигнин — пиридин определяли на интерферометре ИТР-2, прокальброванном по сахарозе и хлористому калию. Полученные значения α (0,120—0,125 см³/г) для ряда образцов сульфатного и натронного лигнинов хорошо согласуются с инкриментом показателя для диоксанлигнина (0,122 см³/г) [22].

Расчетные данные показывают, что в исследованных образцах лигнина учтено при определении от 24 до 98% лигнина. Это говорит о том, что в некоторых случаях полученные данные (например, 96% — для фракции лигнина ПВ-12-61, не растворимой в холодном спирте; 83% — для лигнина Л-61; 96% — для лигнина варки 19—III) характеризуют основную массу лигнина; в других случаях (например, 45% — для фракции 5 лигнина Л-61; 38% — для лигнина варки 20—III) — лишь часть образца. Поэтому процент проявившегося вещества в ходе эксперимента является важным дополнением, помогающим правильно оценить молекулярный вес полидисперсного полимера.

На основании экспериментальных данных можно заключить, что метод седиментационных скоростей применим к нефракционированным об-

* Определяли в специальном эксперименте на ультрацентрифуге по системе полистирол — бутилацетат.

разцам лигнина только при условии контроля за количеством вещества, участвующего в седиментации.

Процент проявившегося вещества можно довести до 100%, подвергнув испытуемый образец перед экспериментом на ультрацентрифуге диализу. Однако это приведет к условному исключению низкомолекулярной фракции из сферы изучения.

Чтобы проверить воспроизводимость результатов, полученных на ультрацентрифуге, были проведены параллельные определения скорости седиментации для лигнина Л-61 и для фракции лигнина ПВ-12-61, не растворимой в холодном спирте. Полученные данные (табл. 2) говорят об удовлетворительной воспроизводимости результатов,

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Б. Д. Богомолов. Журн. «Гидролизная и лесохимическая промышленность», 9, № 5, 15, 1956. [2]. Б. Д. Богомолов, О. П. Алексеева, ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 155—160, 1962. [3]. Б. Д. Богомолов, А. А. Соколова. Побочные продукты сульфатно-целлюлозного производства, 50, 106—133, ГЛБИ, 1962. [4]. Ф. Э. Браунс, Д. А. Браунс. Химия лигнина. Перевод с англ. под ред. М. И. Чудакова, изд-во «Лесная промышленность», 210—220, 1964. [5]. В. М. Никитин. Лигнин, 34, ГЛБИ, 1961. [6]. Н. И. Никитин. Химия древесины и целлюлозы, 441, изд-во АН СССР, 1962. [7]. Н. Д. Прянишников. Практикум по органической химии. ГЛБИ, 1950. [8]. М. И. Чудаков. Промышленное использование лигнинов, 87, 91, ГЛБИ, 1962. [9]. J. Venko. Tappi, 44, № 11, 766—771, 1961. [10]. T. Björkman. Svensk Papperstidning, 60, 158, 243, 329, 1957. [11]. A. Ehrenberg. Acta Chem. Scand., 11, 1257, 1957. [12]. F. M. Ernsberger, W. G. France. J. Phys. a. Colloid Chem., 52, 267, 1948. [13]. J. L. Gardon, S. G. Mason. Can. J. Chem., 33, 1447, 1491, 1955. [14]. D. A. I. Goring. Pure and Applied Chemistry, 5, 242, 1962. [15]. N. Gralen, J. Colloid. Sci., 1, 453, 1946. [16]. P. R. Gupta and D. A. I. Goring. Can. J. Chem., 38, 270, 1960. [17]. P. R. Gupta, R. F. Robertson, D. A. I. Goring. Can. J. Chem., 38, 259, 1960. [18]. C. L. Hess. Tappi, 35, 312, 1952. [19]. J. J. Lindberg, H. Tyll, C. Majani. Paper and Timber 46, 521—526, 1964. [20]. D. L. Loughborough, A. J. Stamm. J. Phys. Chem., 40, 1113, 1936. [21]. J. Moacanin, V. F. Felicetta, J. L. McCarthy. J. Am. Chem. Soc., 77, 3470, 1955. [22]. A. Rezanowich, W. Q. Ye an, D. A. I. Goring. Svensk Papperstidning, 66, 141, 1936. [23]. Svedberg, K. O. Pedersen. «The Ultracentrifuge». Oxford, 1940.

Поступила в редакцию
16 апреля 1965 г.

УДК 65.011.56

КОМПЛЕКСНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

О ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКЕ ОПЕРАТОРА РАСКРЯЖЕВОЧНОГО АГРЕГАТА

Г. А. ВИЛЬКЕ

Доцент, кандидат технических наук

(Московский лесотехнический институт)

Одна из важнейших технологических операций производственного процесса лесопромышленного предприятия — раскряжевка хлыстов на сортименты. От качества выполнения этой операции, то есть от «степени рациональности» выбранной программы раскроя данного хлыста зависит выход деловых ценных сортиментов, а следовательно, и использование исходного сырья.

При раскряжке хлыстов переносными механизированными инструментами (например, электромоторными цепными пилами) программу раскроя устанавливает разметчик, при автоматизированной раскряжке — оператор раскряжевочного агрегата. Очевидно, назначая программу раскроя данного хлыста, разметчик или оператор решает некоторую задачу, обладающую определенной трудностью.

Представляет несомненный интерес оценка «трудности» этой задачи, так как от этого зависит правильность ее решения в заданное время. Можно ожидать, что трудность этой задачи зависит в первую очередь от объема информации, которую должен воспринять, переработать и выдать разметчик или оператор при нахождении правильного ответа, то есть установления рационального раскроя данного хлыста.

Рассмотрим в общих чертах содержание этой задачи и методы ее решения. В одной из наших работ* показано, что под программой раскроя хлыста можно подразумевать некоторый набор, каждый элемент которого содержит информацию о названии сортимента, его длине, диаметре, качестве, то есть

$$П = [(l_1; d_1; c_1; k_1), (l_2; d_2; c_2; k_2), \dots, (l_n; d_n; c_n; k_n)], \quad (1)$$

где $П$ — программа раскроя данного хлыста;

l_i — длина сортимента;

d_i — диаметр сортимента;

c_i — название сортимента;

k_i — сорт (качественный показатель).

При этом

* Г. А. Вильке. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов лесопромышленных предприятий, ч. 2. Изд-во «Лесная промышленность», 1964.

$$l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n = L, \quad (2)$$

где L — длина раскраиваемого хлыста.

Если считать, что показатель k_i характеризует собой «ценность» данного сортимента, подразумевая под этим термином не только отпускную цену, но и потребность народного хозяйства в данном сортименте c_i , то под рациональной программой раскря можно считать такую, при которой реализуется условие

$$\sum_{i=1}^{i=n} d_i^3 \cdot l_i \cdot k_i \rightarrow \max. \quad (3)$$

В свою очередь программа раскря Π зависит от ряда параметров раскряжуемого хлыста. В первом приближении можно считать, что

$$\Pi = f(\Pi; d_k; L; q_2; K), \quad (4)$$

где Π — порода (ель, сосна, береза и т. д.);
 d_k — диаметр хлыста в комле (или точнее, чтобы избежать влияния корневых наплывов, диаметр на расстоянии 1 м от комлевого среза);
 L — длина хлыста;
 q_2 — коэффициент полндревесности;
 K — качество хлыста.

Под качеством хлыста K следует подразумевать наличие тех или иных пороков, влияющих на сортность сортиментов.

В первую очередь необходимо учитывать такие пороки как сучковатость, встречающуюся в 100% случаев, и напеленные гнили, встречающиеся в хвойных породах в 15—30%, а в лиственных — в 15—60% случаев*.

Таким образом, разметчик или оператор раскряжевочного агрегата, решая задачу о рациональном раскряе хлыста, должен, во-первых, воспринять информацию об этом хлысте, то есть оценить значение всех приведенных в скобках параметров выражения (4); во-вторых, переработать ее, то есть по сути найти условие (3); в-третьих, выдать информацию, характеризующую программу раскря данного хлыста, в соответствии с выражением (1).

Представляет интерес оценить объем информации, определяющей параметры раскряжуемого хлыста и характеризующей программу раскря, а также информации, которую нужно «переработать», чтобы определить оптимальную программу раскря. Эта оценка необходима, чтобы определить психологическую загрузку разметчика или оператора и решить вопрос, при какой загрузке оператор раскряжевочного агрегата будет в состоянии решать поставленные задачи, находя рациональные схемы раскря.

Из теории информации известно**, что объем (количество) последней определяется из выражения

$$I = - \sum_{i=1}^{i=n} (p_i) \cdot \lg (p_i), \quad (5)$$

* Г. А. Вильке. Основы автоматизации и автоматизация производственных процессов лесопромышленных предприятий, ч. 2. Изд-во «Лесная промышленность», 1964.

** А. А. Красовский, С. С. Поспелов. Основы автоматизации и технической кибернетики. Госэнергоиздат, 1962.

где p_i — вероятность появления события;
 i — номер события.

Таким образом, одна из первых задач решения проблемы при оценке параметров хлыста и назначении программы раскроя — определение p_i и n . Далее необходимо оценить объем информации, которую нужно переработать для определения программы раскроя по данным параметрам хлыста.

Трудность этой проблемы в том, что нам не известно, как происходит восприятие и переработка информации органами чувств и мозгом человека. Можно лишь с уверенностью сказать, что принципы восприятия и переработки информации человеком и автоматическими устройствами различны. Это особенно ярко проявляется при восприятии образов зрением и мозгом человека и машиной. Так, человек в состоянии сразу оценить тот или иной образ (например, отличить треугольник от квадрата или окружности), а машина может оценить эти же образы только методом определения координат всех точек контура. По-видимому, объем информации, воспринимаемой при этом человеком, в соответствии с выражением (5) во много раз меньше информации, воспринимаемой машиной.

Поступила в редакцию
14 июля 1965 г.

УДК 65.011.55

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА РАСКРЯЖЕВОЧНЫХ АГРЕГАТОВ

А. А. КУДИНОВ

Аспирант

(Московский лесотехнический институт)

Развитие современной техники и технологии на нижних складах лесозаготовительных предприятий характеризуется все большей автоматизацией производственных процессов. Автоматизация предполагает наличие системы управления процессами, которая должна обеспечивать их бесперебойный ход. Эти системы могут быть более или менее объемными, более или менее охватывающими комплекс процессов. Так, для разделки хлыстов на сортименты создают программные блоки, управляемые оператором, намечается разработка автоматических программируемых устройств.

При проектировании подобных систем управления возникает задача обеспечения возможности оптимального согласования работы механизмов, входящих в состав раскряжевочной автоматизированной линии, и человека-оператора, непосредственно участвующего в работе системы.

Роль оператора в системе управления раскряжевочной линией может быть различной: от технического обслуживания системы и ее ремонта до принятия решений, обуславливающих характер процессов управления в системе, эффективность выполнения задачи, стоящей перед системой (оптимальной раскряжевки хлыстов). Обеспечение нормальных условий деятельности человека в системе управления требует внимательного учета его физиологических и психологических особенностей, так как без этого человек может оказаться тем слабым звеном в системе управления, которое в первую очередь выйдет из строя при неблагоприятных обстоятельствах и нарушит нормальную работу раскряжевочной линии. Общие положения о психологической нагрузке оператора изложены в работе Г. А. Вильке [3]. Задача нашей статьи — определить критерии психологической нагрузки оператора раскряжевочного агрегата. Оператор осматривает хлыст и получает информацию по приборам, оценивает всю полученную информацию и вырабатывает решение, заключающееся в выработке программы раскряжки. Программа раскряжки хлыста Pr зависит [4] от породы древесины, геометрических (размерных) параметров хлыста, наличия тех или иных пороков и сортиментного плана предприятия, то есть

$$Pr = F(P, G, K, C), \quad (1)$$

где P — порода дерева;
 G — размеры и формы хлыста;
 K — качество древесины;
 C — сортиментный план предприятия.

О первых трех параметрах оператор получает информацию от движущегося хлыста визуально или по приборам, сортиментный план оператор запоминает заранее. Если не интересоваться, как информация о хлысте запоминается, перерабатывается и выдается в виде программы мыслительными органами оператора, то есть представить это в виде «черного ящика», то схема будет выглядеть, как представлено на рис. 1.

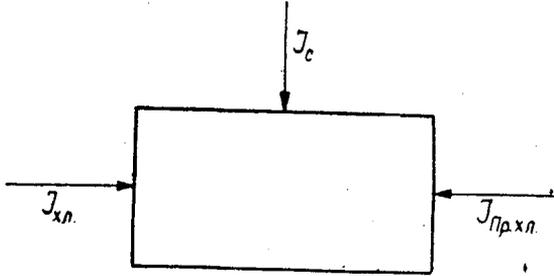


Рис. 1.

$J_{хл}$ — информация о i -том хлысте; J_c — информация о сортиментном плане; $J_{прхл}$ — информация о программе раскроя i -того хлыста.

Для определения критериев интеллектуальных способностей оператора необходимо дать количественную оценку информации о хлысте. Эти критерии нужны для того, чтобы определить, когда необходимы автоматические программирующие устройства, облегчающие интеллектуальную деятельность оператора, без которых при определенных условиях (например, скоростях или производительности раскрывочного агрегата) оператор не сможет справиться со стоящими перед ним задачами. Итак, нужна особая мера оценки, так как простой подсчет количества сигналов, воспринимаемых оператором в единицу времени, не может решить нашей задачи. Из теории связи были заимствованы основные термины: понятие и методы оценки количества информации, скорость передачи информации, пропускная способность канала связи.

В качестве меры информации К. Шеннон [10] предложил меру неопределенности выбора в данной конечной схеме

$$H = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \lg p(x_i) \frac{\text{дв. ед.}}{\text{сообщение}}, \tag{2}$$

где $p(x_i)$ — вероятность появления сигнала;

H — количество информации, приходящееся на одно достоверное сообщение.

С. Голдман [5] дает иное математическое определение информации как индивидуальной энтропии сигнала

$$\text{Получение информации} = \lg \left[\frac{\text{вероятность у приемника данного события после приема сообщения}}{\text{вероятность у приемника данного события до приема сообщения}} \right]. \tag{3}$$

В случае, когда у приемника «отсутствуют шумы», то есть он принимает безошибочно, вероятность события после приема сообщения о нем равна единице, и выражение (3) принимает вид

$$\text{Получение информации} = -\lg \left[\frac{\text{вероятность у приемника данного события до приема сообщения}}{\text{вероятность у приемника данного события до приема сообщения}} \right], \tag{4}$$

то есть

$$h_i = -\lg p_i, \quad (5)$$

где p_i — вероятность появления i -того сигнала;

h_i — индивидуальная энтропия сигнала.

Приняв формулу (5), можно зависимость времени реакции от количества информации, содержащегося в отдельном сигнале, задать вероятностью его появления в какой-то последовательности. Между формулами (2) и (5) имеется связь: по определению А. А. Фельдбаума и др. [9] Шенноновская энтропия может быть определена как математическое ожидание величины

$$H = M \{h_i\}. \quad (6)$$

В формулах (2) и (5) основанием при логарифме обычно является 2, и количество информации измеряется в двоичных единицах (в зарубежной литературе принят термин «bit»). Одна двоичная единица есть то количество информации, которое необходимо для принятия решения при выборе из двух одинаково вероятных возможностей. Если мы заранее знаем, что на раскряжевочную эстакаду подают хлысты только двух пород, и необходимо решить, какая из них подойдет под раскряжевочный агрегат (вероятности появления этих пород равны), в таком случае необходима одна двоичная единица информации. Две двоичные единицы информации позволяют произвести выбор из четырех равновероятных возможностей, три — из восьми, четыре — из шестнадцати, пять — из тридцати двух и т. д. Иначе говоря, если заданы 32 равновероятные возможности, то прежде чем узнать, какая из них правильна, мы должны осуществить пять последовательных (бинарных) двоичных решений, каждое из которых связано с одной двоичной единицей.

Информацию о хлысте несет многомерный алфавит сигналов, содержащий

$$N = N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 \cdot N_4 \cdot N_5 \cdot N_6 \cdot N_7, \quad (7)$$

где N_1 — субсимвол измерения породы хлыста, зависит от лесонасаждения, где производят лесозаготовки;

N_2 — субсимвол измерения длины хлыста;

N_3 — субсимвол измерения диаметра хлыста;

N_4 — субсимвол измерения формы хлыста;

N_5 — субсимвол сучковатости хлыста;

N_6 — субсимвол измерения напеленных гнилей хлыста;

N_7 — субсимвол измерения прочих пороков хлыста, влияющих на программу раскря.

Допустим*, что взаимная связь между различными измерениями алфавита отсутствует, тогда индивидуальная информация о хлысте определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} I_{хл} = -\lg [p(N)] &= -\lg [p(N_1) \cdot p(N_2) \cdot p(N_3) \cdot p(N_4) \cdot p(N_5) \cdot \\ &\cdot p(N_6) \cdot p(N_7)] = -\lg [p(N_1)] - \lg [p(N_2)] - \lg [p(N_3)] - \\ &- \lg [p(N_4)] - \lg [p(N_5)] - \lg [p(N_6)] - \lg [p(N_7)], \end{aligned} \quad (8)$$

где $p(N_1)$ — вероятность появления хлыста одной из пород;

$p(N_2)$ — вероятность появления хлыста одной из длин;

$p(N_3)$ — вероятность появления хлыста одного из диаметров;

* Оператору безразлично, какой субсимвол он воспринимает раньше. Строго говоря, между самими параметрами хлыста существует какая-то корреляционная связь.

- $p(N_4)$ — вероятность появления хлыста одной из форм;
 $p(N_5)$ — вероятность появления хлыста одной из степеней сучковатости;
 $p(N_6)$ — вероятность появления хлыста с напенной гнилью;
 $p(N_7)$ — вероятность появления хлыста с прочими пороками.

По различным вероятностям появления хлыстов с различными параметрами, которые могут быть представлены соответствующими субсимволами, подсчитываем количество индивидуальных информаций (табл. 1).

Таблица 1

N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7
$\frac{0,01}{6,64}$	$\frac{0,01}{6,64}$	$\frac{0,01}{6,64}$	$\frac{0,01}{6,64}$	$\frac{0,01}{6,64}$	$\frac{0,20}{2,32}$	$\frac{0,01}{6,64}$
$\frac{0,10}{3,32}$	$\frac{0,10}{3,32}$	$\frac{0,10}{3,32}$	$\frac{0,0}{3,32}$	$\frac{0,10}{3,32}$	$\frac{0,25}{2,00}$	$\frac{0,10}{3,32}$
$\frac{0,20}{2,33}$	$\frac{0,15}{2,72}$	$\frac{0,15}{2,72}$	$\frac{0,15}{2,72}$	$\frac{0,15}{2,72}$	$\frac{0,30}{1,73}$	$\frac{0,20}{2,32}$
$\frac{0,30}{1,73}$	$\frac{0,20}{2,32}$	$\frac{0,20}{2,32}$	$\frac{0,20}{2,32}$	$\frac{0,20}{2,32}$	$\frac{0,40}{1,32}$	—
$\frac{0,40}{1,32}$	$\frac{0,25}{2,00}$	$\frac{0,25}{2,00}$	$\frac{0,25}{2,00}$	$\frac{0,25}{2,00}$	—	—
$\frac{0,50}{1,00}$	$\frac{0,30}{1,73}$	$\frac{0,30}{1,73}$	$\frac{0,30}{1,73}$	$\frac{0,30}{1,73}$	—	—
$\frac{0,60}{0,737}$	$\frac{0,35}{1,52}$	$\frac{0,35}{1,52}$	$\frac{0,40}{1,32}$	$\frac{0,40}{1,32}$	—	—
$\frac{0,70}{0,512}$	—	—	$\frac{0,50}{1,00}$	$\frac{0,50}{1,00}$	—	—
$\frac{0,80}{0,32}$	—	—	$\frac{0,60}{0,737}$	—	—	—
$\frac{0,90}{0,152}$	—	—	$\frac{0,70}{0,512}$	—	—	—
$\frac{1,00}{0}$	—	—	—	—	—	—

Примечание. В числителе — вероятности появления субсимволов; в знаменателе — количество информации в двоичных единицах. Для нахождения вероятностей субсимволов использовали данные ряда авторов [2], [6].

Из табл. 1 видно, что количество информации увеличивается с уменьшением того или иного субсимвола измерения. Максимальное количество информации по формуле (8) определяется так (данные см. в табл. 1):

$$I_{\text{хл}} = -\lg [p(N)] = 42,16 \text{ дв. ед./хлыст.}$$

Такое количество информации несет в себе, к примеру, еловый хлыст, вероятность встречаемости которого в других породах 0,01 (или 1 ель на 100 хлыстов других пород); диаметром с вероятностью встречаемости 0,01; длиной, вероятностью которой 0,01; с формой ствола (сбежистостью), имеющей вероятность 0,01; с сучковатостью данной степени, вероятность встречаемости которой 0,01; из лесонасаждения, имеющего в среднем 1% напенных гнилей и 1% других пороков.

Информацию о сортиментном плане предприятия (рис. 1) оператор запоминает заранее или получает по специальным записям, где указаны наиболее предпочтительные сортименты.

Количество индивидуальной информации определяют по формуле (9)

$$I_c = -\lg p_c, \quad (9)$$

где I_c — количество информации о сортиментном плане;
 p_c — вероятность использования сортимента (или сортиментов), составляющего сортиментный план.

Например, требуется определить количество информации о сортиментном плане, необходимой оператору при так называемом «финском» способе заготовок [1], когда задана определенная средняя взвешенная длина (предположим 6,5 м). Раскряжевщик может вырезать сортименты длиной от 4,5 до 8,5 м так, чтобы наибольшая вероятность приходилась на 6,5 м, а наименьшая — на 4,5 и 8,5 м. Тогда наибольшее количество индивидуальной информации несет в себе сигнал с наименьшей вероятностью. Если сортимент 4,5 м имеет вероятность 0,01, то

$$I_c = -\lg [p(4,5)] = -\lg 0,01 = 6,64 \text{ дв. ед./сортимент.}$$

Получив информацию о хлысте и сортиментном плане, оператор должен выработать решение, то есть дать программу раскроя хлыста.

Программу раскряжевки определяет зависимость [4]

$$\left. \begin{aligned} \Pi p &= (d_1; l_1; C_1) + (d_2; l_2; C_2) + \dots + (d_n; l_n; C_n); \\ L &= l_1 + l_2 + \dots + l_n, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где d_i — диаметр сортимента в верхнем отрубе;
 l_i — длина сортимента;
 C_i — наименование сортимента;
 L — полная длина сортимента.

Оператор, переработав информацию, выдает программу в виде длин $l_1; l_2; \dots; l_n$; оценить количество информации можно по вероятностям появлений решений о той или иной длине. Тогда, если допустить, что решения о длинах — события, независимые друг от друга, то

$$p(\Pi p) = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n, \quad (11)$$

где $p(\Pi p)$ — вероятность выбора программы;
 $p_1; p_2; \dots; p_n$ — вероятности выбора сортиментов соответствующих длин.

Пример. По исследованиям В. С. Петровского [8], наименьшая вероятность вырезания сортимента $p_i = 0,05$, наибольшая — $p_j = 0,65$.

Пусть $p_1 = 0,05$ первого сортимента, $p_2 = 0,65$ второго, $p_3 = 0,15$ третьего, $p_4 = 0,10$ четвертого, $p_5 = 0,05$ пятого.

$$\begin{aligned} I_{\Pi p} &= -\lg [p(\Pi p)] = -\lg [p(l_1)] - \lg [p(l_2)] - \lg [p(l_3)] - \\ &\quad - \lg [p(l_4)] - \lg [p(l_5)]. \\ I_{\Pi p} &= 14,0 \text{ дв. ед./программу.} \end{aligned} \quad (12)$$

Выводы

Итак, мы имеем возможность оценить количество информации. В конкретном случае оператор может получить до 42,16 двоичных единиц информации о хлысте, 6,64 двоичных единиц о сортиментном плане и выдать информацию о программе в 14 двоичных единиц.

Если возвратиться к рис. 1 и говорить о мыслительных органах оператора как о «черном ящике», то есть не задавать себе вопросов, как происходит процесс переработки и пропуска информации (что действительно остается еще загадкой), то увидим, что через этот «черный ящик» проходит вся информация за время, которое определяется скоростью движения хлыстов или, иначе, производительностью раскряжевочного агрегата. При производительности раскряжевочных агрегатов более 300 м³/смену время на оценку и выдачу команды составляет около 15 сек, за которое оператор должен переработать и выдать информации 62,8 дв. ед., то есть 4,18 дв. ед./сек.

Проведенные экспериментальные исследования пропускной способности оператора можно представить так [7]: вычислено по данным Арчера — 0,7; по данным Клеммера — 1,1; получено Куком и Шефирдом — 3,3—5,6; Хиком — 5; Хайменом — 7; при работе телеграфиста — 17.

Результаты этих исследований весьма различны. Причина этого кроется, очевидно, в методиках экспериментов и их целенаправленности. Но уже по этим данным и до проведения экспериментов на выявление психологических способностей оператора можно видеть, что его возможности весьма ограничены (особенно, если учесть, что оператор должен следить еще за общим процессом раскряжевки и работой агрегата).

Эти результаты приводят к выводу, что при производительности раскряжевочных агрегатов более 300 м³/смену возникает необходимость в автоматических программирующих устройствах. Оператор в этом случае будет наблюдать за работой системы управления и агрегата, а также выполнять функции, которые технически трудно промоделировать в системах управления (например, опознавание породы хлыстов, принятия решений при резко фауных хлыстах).

Все изложенные соображения позволяют сделать вывод о том, что при повышении производительности раскряжевочного агрегата до 300 и более м³/смену оператор будет не в состоянии производить выбор оптимальной программы раскряжевки, что повлечет за собой ухудшение качества разделки, с соответствующим снижением выхода деловых сортиментов.

Наши выкладки безусловно весьма приближенны, и поэтому возникает необходимость дальнейших экспериментальных исследований психологических возможностей человека в условиях выбора программ раскряжевки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. П. Анучин. Новый способ раскряжевки хвойных деревьев. Гослестехиздат, М., 1934. [2]. А. В. Вагин. Выход сортиментов в ельниках в зависимости от возраста. Научные доклады высшей школы, журн. «Лесоинженерное дело» № 1, 1953. [3]. Г. А. Вильке. О психологической нагрузке оператора раскряжевочного агрегата. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1966. [4]. Г. А. Вильке. Основы автоматизации производственных процессов лесопромышленных предприятий. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1964. [5]. С. Голдман. Теория информации. М., 1957. [6]. В. К. Захаров, О. А. Труль, В. С. Мирошников, В. Е. Ермаков. Лесо-таксационный справочник (под общей ред. В. К. Захарова), Минск, 1962. [7]. Инженерная психология (под ред. А. Н. Леонтьева, В. П. Зиганко, Д. Ю. Панова), изд-во МГУ, 1964. [8]. В. С. Петровский. Исследование рационального и слепого раскряжения хлыстов хвойных пород на комбинированных лесозаготовительных-лесопильных предприятиях (Сибири). Диссертация, Красноярск, 1962. [9]. А. А. Фельдбаум, А. Д. Дудькин, А. П. Мановцев, Н. Н. Миролубов. Теоретические основы связи и управления. (Под ред. А. А. Фельдбаума), М., 1963. [10]. К. Шеннон. Математическая теория связи. Сб. «Работа по теории информации и кибернетике», М., 1963.

УДК 62-525

О КОЛИЧЕСТВЕ ИНФОРМАЦИИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЙ СУЧКОВАТОСТЬ ХЛЫСТОВ

Л. В. ЛЕОНОВ

Аспирант

(Московский лесотехнический институт)

В статье Г. А. Вильке [1] освещена в целом проблема назначения программы раскряжевки хлыстов на сортименты после оценки их параметров (для каждого конкретного хлыста в отдельности).

Из-за сравнительно большого количества этих параметров и малых интервалов времени для их оценки (имеется в виду внедрение в производство многопильных раскряжевочных агрегатов с «плавающими» пилами) следует ожидать больших отклонений при осуществлении раскряжевки на основе программ, назначенных человеком [2].

Очевидно, что решение вопроса заключено в автоматизации процесса управления раскряжевкой, которая уменьшит ошибки при одновременном увеличении скорости процесса раскряжевки.

В одной из работ автора [4] качественно была оценена информация о сучковатости хлыстов. В данной статье сделана попытка оценить эту информацию с количественной стороны.

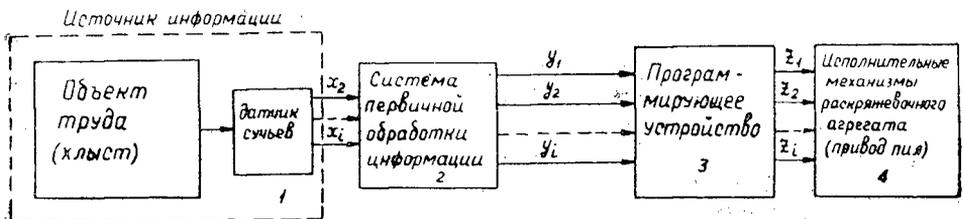


Рис. 1.

Рассмотрим в общем виде схему процесса управления раскряжевкой (рис. 1). Для нас представляет интерес система частичной обработки информации, обозначенная цифрой 2.

С источника информации поступает непрерывное информационное сообщение о многих совокупностях величин $x_1; x_2; \dots; x_n$, характеризующих процесс раскряжевки. Физическая природа и величина их различны. Назовем их координатами процесса управления (они характеризуют сучковатость хлыстов). В общем виде координаты можно рассматривать

применительно к любой породе деревьев; необходимо только учитывать, что интервалы, в которых координаты x_i действительны, могут быть разными.

Тогда на выходе из системы первичной обработки информации получается информационное сообщение с координатами $y_1; y_2; y_3; \dots y_n$.

Примем теперь, что координаты $x_1; x_2; x_3; \dots x_n$ могут однозначно характеризоваться в каждый рассматриваемый момент времени t распределением их вероятности.

Распределение вероятности будем считать нормальным и непрерывным, то есть определяемым равенством *

$$p(x_i) = n(a, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

здесь $p(x_i)$ — плотность вероятности координаты процесса управления;

a, σ — параметры кривой нормального распределения [6].

Итак, с источника информации в блок 2 поступает сообщение, передающее координаты процесса управления $x_1; x_2; \dots x_n$. Количество переданной информации определяется, согласно теории информации [3], следующим выражением:

$$i = \lg \frac{p_y(x_1, x_2, \dots, x_n)}{p(x_1, x_2, \dots, x_n)}, \quad (2)$$

где $p(x_1; x_2; \dots x_n)$ — плотность вероятности до получения сигнала (входная величина блока 2);

$p_y(x_1; x_2; \dots x_n)$ — плотность вероятности после получения сигнала (выходная величина блока 2).

Среднее значение количества информации при передаче величин

$$x_1; x_2; \dots x_n \rightarrow y_1; y_2; y_3; \dots y_n$$

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} p(x_1; x_2; \dots x_n; y_1; y_2; \dots y_n) \cdot \lg \frac{p_y(x_1; x_2; \dots x_n)}{p(x_1; x_2; \dots x_n)} dx_1 \dots dy_n. \quad (3)$$

В формуле (3), в отличие от уравнения (2), выражение

$$p(x_1; x_2; x_3; \dots x_n; y_1; y_2; \dots y_n) dx_1; dx_2 \dots dx_n dy_1 \dots dy_n$$

есть вероятность одновременности нахождения передаваемых величин в интервале от x_i до $x_i + dx$ и принятых величин от y_i до $y_i + dy$

Зная переданный сигнал и не зная принятого, выражаем уравнение (3) в симметричном виде

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} p(x_1; x_2; \dots x_n; y_1; \dots y_n) \cdot \lg \frac{p(x_1; x_2; \dots x_n)}{p(x_1; \dots x_n) \cdot p(y_1; \dots y_n)} \cdot dx_1 \dots dy_n, \quad (4)$$

* Справедливость такого допущения докажем следующим рассуждением. Угол прикрепления сучьев мы оцениваем в градусах; теоретически всегда найдется сучок с углом прикрепления, отличным от целого числа градусов. Так и для вероятности всегда найдется плотность вероятности p_i , которая отличается от предыдущей на dp_i . Характер изменения вероятности остается прежним, он описывается уравнением (1).

учитывая, что

$$p_y(x_1; \dots x_n) = \frac{p(x_1; \dots x_n; y_1; \dots y_n)}{p(y_1; y_2; \dots y_n)}, \quad (5)$$

и имея

$$\begin{aligned} p(x_1; x_2; \dots x_n; y_1; y_2; \dots y_n) &= p_y(x_1; \dots x_n) \cdot p(y_1; \dots y_n) = \\ &= p(x_1; x_2; \dots x_n) \cdot p_x(y_1; y_2; \dots y_n). \end{aligned} \quad (6)$$

После соответствующих преобразований формулы (3) получаем

$$\begin{aligned} I &= \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} p(y_1; \dots y_n) \cdot p_y(x_1; \dots x_n) \cdot \lg p_y(x_1; \dots x_n) dx_1 \dots dy_n - \\ &- \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} p(x_1; \dots x_n) p_x(y_1; \dots y_n) \cdot \lg p(x_1; \dots x_n) dx_1 \dots dy_n. \end{aligned} \quad (7)$$

В выражении (7) первое слагаемое представляем в виде

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(y_1; \dots y_n) \left[\int_{-\infty}^{+\infty} p_y(x_1; \dots x_n) \lg p_y(x_1; \dots x_n) dx_1 \dots dx_n \right] dy_1 \dots dy_n = -K_y [H_y(x_1; \dots x_n)]. \quad (8)$$

Второе слагаемое в выражении (7) записываем как

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p_x(y_1; \dots y_n) \left[\int_{-\infty}^{+\infty} p(x_1; \dots x_n) \lg p(x_1; \dots x_n) dx_1 \dots dx_n \right] dy_1 \dots dy_n;$$

так как

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p_x(y_1; \dots y_n) dy_1 \dots dy_n = 1,$$

то

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(x_1; \dots x_n) \lg p(x_1; \dots x_n) dx_1 \dots dx_n = -H(x_1; \dots x_n). \quad (9)$$

Возвращаясь к выражению (7) и учитывая формулы (8) и (9), имеем

$$I = H(x_1; \dots x_n) - K_y [H_y(x_1; \dots x_n)] \quad (10)$$

Среднее значение количества информации по сучковатости при передаче $(x_1; x_2; \dots x_n \rightarrow y_1; y_2; \dots y_n)$ равно разности энтропии распределения вероятности входных величин (координаты управляемого процесса) и усредненной энтропии распределения вероятностей этих же величин после получения сигнала (координаты на выходе из блока 2). В классическом случае $K_y [H_y(x_1; \dots x_n)]$ — усредненная характеристика запаздывания ошибок при первичной обработке информации. В нашем случае $K_y [H_y(x_1; \dots x_n)]$ будет включать в себя многие ограничения и постоянные величины (память), связанные с требованиями ГОСТов, надежностью блоков схемы 2 и пр. Вообще говоря, этот критерий следует особо

тщательно учитывать при выборе и разработке той или иной логической схемы. Представляет интерес энтропия распределения вероятностей координат управляемого процесса на входе в блок 2 (рис. 1), то есть $H(x_1; x_2; \dots x_n)$.

Для оценки ее с количественной стороны выясняем, чем определяется сучковатость каждого конкретного хлыста: а) $d_1; d_2; \dots d_n$ — диаметром сучьев; б) $\varphi_1; \varphi_2 \dots \varphi_n$ — углом прикрепления их; в) $z_1; z_2 \dots z_n$ — числом сучьев на 1 пог. м; г) $k_1; k_2; \dots k_n$ — числом сучьев мутовки, учитывая, что сучья мутовки по длине хлыста расположены на расстоянии

$$l_m \leq 2d_{max}^m, \quad (11)$$

где d_{max}^m — диаметр наибольшего сучка в мутовке.

Рассматривая (а), (б), (в), (г) как числовые последовательности и зная вероятность их распределения, можем получить количественное значение энтропии этих последовательностей применительно к конкретным породам.

Из теории информации известно, что если координата может принимать лишь дискретные значения, вероятности которых равны $p_1; p_2; \dots p_m$, то энтропия такой координаты выражается формулой

$$H = - \sum_{i=1}^m p_i \lg p_i. \quad (12)$$

Учитывая формулу (12) и взяв из графиков [5] значение вероятности для диаметров сучьев и угла их прикрепления, вычисляем величину энтропии для разных пород (табл. 1 и 2).

1. ЭНТРОПИЯ УГЛОВ ПРИКРЕПЛЕНИЯ СУЧЬЕВ

Таблица 1

Угол прикрепления сучьев φ_i , град	Вероятность p_i , доли единицы	Величина энтропии
Береза		
10	0,020	$H_b^\varphi = 1,516 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{символ}}$
20	0,087	
30	0,262	
40	0,120	
50	0,035	
60	0,015	
Ель		
70	0,025	$H_e^\varphi = 1,731 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{символ}}$
80	0,060	
90	0,120	
100	0,160	
110	0,080	
120	0,040	
130	0,013	
Осина		
20	0,005	$H_o^\varphi = 1,614 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{символ}}$
30	0,070	
40	0,150	
50	0,200	
60	0,070	
70	0,025	
80	0,010	

II. ЭНТРОПИЯ ДИАМЕТРОВ ОДИНОЧНЫХ СУЧЬЕВ

Таблица 2

Диаметр сучка d_i (размер A^*), см	Вероятность p_i доли единицы	Величина энтропии
Береза		
2	0,020	$H_6^d = 4,751 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{СИМВОЛ}}$
3	0,065	
4	0,110	
5	0,155	
6	0,180	
7	0,195	
8	0,205	
9	0,205	
10	0,195	
11	0,170	
12	0,135	
13	0,095	
14	0,075	
15	0,060	
16	0,045	
17	0,035	
18	0,030	
19	0,025	
20	0,020	
Ель		
1	0,025	$H_e^d = 2,44 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{СИМВОЛ}}$
2	0,100	
3	0,275	
4	0,240	
5	0,165	
6	0,080	
7	0,025	
8	0,010	
Осина		
2	0,015	$H_o^d = 5,479 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{СИМВОЛ}}$
3	0,030	
4	0,060	
5	0,100	
6	0,135	
7	0,155	
8	0,170	
9	0,175	
10	0,170	
11	0,155	
12	0,130	
13	0,110	
14	0,090	
15	0,080	
16	0,070	
17	0,060	
18	0,050	
19	0,040	
20	0,035	

* Сучок в основании имеет эллипсоидальное сечение.
 A — размер сучка в продольном направлении.

III. ЭНТРОПИЯ КОЛИЧЕСТВА СУЧЬЕВ НА 1 ПОГ. М

На основе материала кафедры селекции и дендрологии МЛТИ, исследовавшей формовое разнообразие ели в условиях Бачеловского ЛПХ, Карельской АССР, были получены экспериментальные кривые процентной частоты встречаемости количества сучьев на 1 пог. м.

Таблица 3

Число сучьев ели на 1 пог. м z_i , шт.	Вероятность p_i , доли единицы	Величина энтропии
$\lambda = \frac{1}{2}$		
1	0,050	$H^z_{e1/2} = 2,294 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{символ}}$
2	0,110	
3	0,175	
4	0,210	
5	0,160	
6	0,100	
7	0,020	
$\lambda = \frac{2}{3}$		
1	0,050	$H^z_{e2/3} = 2,2 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{символ}}$
2	0,140	
3	0,180	
4	0,190	
5	0,140	
6	0,060	
7	0,015	
$\lambda = \frac{3}{4}$		
1	0,010	$H^z_{e3/4} = 3,465 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{символ}}$
2	0,030	
3	0,080	
4	0,170	
5	0,275	
6	0,200	
7	0,090	
8	0,045	
9	0,015	

Построив теоретическую кривую нормального распределения, находим вероятность встречаемости p_i количества сучьев на 1 пог. м z_i для $\lambda = \frac{1}{2}; \frac{2}{3}; \frac{3}{4}$, где $\lambda = \frac{L_{\text{кроны}}}{L}$ — относительная длина кроны [4].

Другие породы рассматривать не будем, так как ель имеет максимальное число сучьев на 1 пог. м длины дерева.

Исследования, проведенные в апреле 1965 г. в Оленинском ЛПХ, подтвердили нормальный характер распределения вероятности числа сучьев на 1 пог. м.

IV. ЭНТРОПИЯ ЧИСЛА СУЧЬЕВ МУТОВКИ

Была обследована сосна (табл. 4).

Так как координаты процесса управления раскряжкой, рассматриваемые в разделах I, II, III и IV, независимы, в отличие, например, от

Таблица 4

Число сучьев в мутовке k_i , шт.	Вероятность p_i , доли единицы	Величина энтропии
2	0,135	$H^k = 2,099 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{символ}}$
3	0,297	
4	0,270	
5	0,244	
6	0,054	

суммарной площади среза сучьев, являющейся функцией диаметра сучка и его угла прикрепления $S = f(d, \varphi)$, то общая энтропия на символ сообщения на входе в блок 2 (рис. 1) равна

$$H_{\text{общ}} = H_e^{\varphi} + H_0^d + H_{сз/4}^z + H_c^k = 12,874 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{символ}}. \quad (13)$$

Для получения этой величины слагают максимальные значения энтропии в разрезах I, II, III и IV (так как учитывают хвойные и лиственные породы).

Для определения общей энтропии сообщения нужно вычислить энтропию сообщения для каждой породы древесины с учетом количества членов последовательностей.

Энтропия сообщения для породы дерева

$$H_{\text{сообщ}} = H^{\varphi} \cdot n_{\varphi} + H^d \cdot n_d + H^z \cdot n_z + H^k \cdot n_k; \quad (14)$$

а) для березы

$$H_{\text{сообщ}}^{\text{б}} = H_0^{\varphi} \cdot n_0^{\varphi} + H_0^d \cdot n_0^d + H^z \cdot n_z + H^k \cdot n_k = 104,09 \text{ дв. ед.} \quad (14, \text{а})$$

б) для осины

$$H_{\text{сообщ}}^{\text{о}} = H_0^{\varphi} \cdot n_0^{\varphi} + H_0^d \cdot n_0^d + H^z \cdot n_z + H^k \cdot n_k = 151,65 \text{ дв. ед.} \quad (14, \text{б})$$

в) для ели

$$H_{\text{сообщ}}^{\text{е}} = H_e^{\varphi} \cdot n_e^{\varphi} + H_e^d \cdot n_e^d + H^z \cdot n_z + H^k \cdot n_k = 70,85 \text{ дв. ед.} \quad (14, \text{в})$$

Возвращаясь к формуле (10) и учитывая (14, а), (14, б), (14, в), имеем:

для хвойных пород

$$I_{\text{хв}} \approx 70 - K'_y [H_y(x_1; x_2; \dots x_n)]; \quad (15)$$

для лиственных пород

$$I_{\text{листв}} \approx 150 - K''_y [H_y(x_1; x_2; \dots x_n)]. \quad (16)$$

Таким образом, энтропия сообщения, полученная от источника информации по сучковатости, для лиственных пород вдвое больше, чем для хвойных.

Наконец, находим емкость C блока 2, которая определяется числом дв. ед. (бит) в 1 сек.

Время, за которое поступает сообщение, определяется скоростью протаскивания хлыста через сучкорезный станок (это положение является следствием, вытекающим из принципа действия датчика сучьев).

В линии ПСЛ-1 ЦНИИМЭ имеются две скорости: $v_1 = 0,6$ и $v_2 = 1,2$ м/сек.

Для многопильных раскряжевочных агрегатов $v = 2,4 \div 3,5$ м/сек.

Примем среднюю длину хлыста $L_{\text{ср}} = 20$ м. Тогда время протаскивания хлыста будет соответственно: $t_1 \approx 33,3$; $t_2 \approx 16,6$; $t \approx 8,33 \div 5,7$ сек.

Таким образом, пропускная способность блока 2 в применении к линии ПСЛ-1 ЦНИИМЭ составляет:

для хвойных пород $C_{v_1}^{хв} = 2,13$; $C_{v_2}^{хв} \approx 4,26 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{сек}}$;

для лиственных $C_{v_1}^{\text{лист}} \approx 4,55$; $C_{v_2}^{\text{лист}} \approx 9,1 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{сек}}$.

Для многопильных раскряжевочных агрегатов $C_v^{хв} = 9,4 \div 13,8$;
 $C_v^{\text{лист}} = 18,2 \div 26,6 \frac{\text{дв. ед.}}{\text{сек}}$.

Из литературных источников по теории информации известно, что человек в состоянии принять за 1 сек от 0,7 до 4 дв. ед. информации.

Оператор (работающий на линии ПСЛ-1) получает для назначения программ на раскряжевку хвойных пород от 2,13 до 4,26 дв. ед./сек, а для лиственных пород — от 4,55 до 9,1. Этим объясняются ошибки при назначении программ (особенно у начинающих операторов).

При работе с многопильными раскряжевочными агрегатами требуется автоматическое устройство для переработки такого количества информации в 1 сек. Устройство по переработке информации будет довольно сложным и емким.

Руководствуясь требованиями ГОСТов, можно значительно сократить количество переработанной информации.

1) Переход от последовательности диаметров одиночных сучьев к последовательности сортообразующих существенно снизит слагаемое $H^d \cdot n_d$ в формуле (14), являющееся самым большим по величине.

2) Объединив последовательность, характеризующую вероятность встречаемости угла прикрепления сучьев с последовательностью сортообразующих сучьев, и учитывая $H(x, y) < H(x) + H(y)$, можно снизить $H^\varphi \cdot n_\varphi$ (см. формулу (14)).

3) Введя новую последовательность для мутовок (коэффициент формы кривой), объединяющую сразу три координаты (число сучьев в мутовке, диаметр мутовочных сучьев и их расположение в мутовке), получаем

$$H'_{\text{сообщ}} = H(\varphi, d_{\text{сорт}}) + H^M(z, d_z, x_z), \quad (17)$$

где $H'_{\text{сообщ}} \ll H_{\text{сообщ}}$

и, следовательно, количество информации, поступающее в программирующее устройство (блок 3, рис. 1)

$$I_y \ll I. \quad (18)$$

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Г. А. Вильке. О психологической нагрузке оператора раскряжевочного агрегата. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1966. [2]. Г. А. Вильке. Основы автоматизации производственных процессов лесопромышленных предприятий. Изд-во «Лесная промышленность», 1964. [3]. А. А. Красовский, С. С. Поспелов. Основы автоматизации и технической кибернетики. Госэнергоиздат, 1962. [4]. Л. В. Леонов. Автоматическое определение пороков древесины и методы дешифрирования информации (реферат доклада на научной конференции). МЛТИ, 1965. [5]. Э. А. Павлов. Состояние и перспективы механизации обрезки сучьев. Гослесбумиздат, 1958. [6]. Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики. Изд-во «Наука», М., 1965.

УДК 674.047.6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВОЗДУШНО-ПАРОВОЙ ЛЕСОСУШИЛЬНОЙ КАМЕРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ КАК ОДНОЕМКОСТНОГО ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

А. А. СМИРНОВ

Доцент

Г. П. КУЗЬМИНОВ

Доцент

(Ленинградская лесотехническая академия)

Сушильная установка как тепловой объект регулирования характеризуется распределенными параметрами. Это выражается в неравномерности температурного поля по объему камеры. Переходные процессы таких объектов описываются дифференциальными уравнениями в частных производных. Однако воздушно-паровая лесосушильная камера периодического действия с принудительной циркуляцией агента для всего штабеля сушимого пиломатериала имеет одну общую зону сушки, в которой поддерживаются заданные параметры, имеющие однозначную величину для всей камеры. Поэтому в целях упрощения данный объект можно рассматривать как объект с сосредоточенными параметрами [1].

В процессе сушки сушильная камера является многоемкостным объектом с самовыравниванием и запаздыванием. Наиболее существенное влияние на динамику сушки оказывают тепловые емкости сушимого материала и калориферов. Меньше влияет тепловая емкость сушильного агента вследствие ее несопоставимости с емкостями калориферов и сушимого материала. Совершенно незначительно сказывается на динамике процесса тепловая емкость кладки камеры, хотя количественно она велика. Исследования показывают, что при обычных возмущающих воздействиях, приложенных к одной из камер общего моноблока сушильной установки, температура стен камеры остается почти неизменной в течение сравнительно длительного времени. С целью упрощения абстрагируемся от явлений промежуточного теплообмена и будем рассматривать лесосушильную камеру как одноемкостный объект, в котором имеется непосредственный контакт между поступающим теплом и сушимой древесиной. В этом случае уравнение динамики переходного процесса сушки, отнесенное к сушиму материалу, на основании известных соотношений теплового баланса можно представить в виде

$$Q_{\text{суш}} = G_0 \cdot q_{\text{исп}} \cdot \frac{dw}{dt} + G_0 \cdot (c_0 + w) \cdot \frac{d\vartheta_{\text{мат}}}{dt} + \sum_{i=1}^n F_i \cdot k_i \cdot (\vartheta_c - \vartheta_n) \frac{\text{ккал}}{\text{час}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{суш}}$ — расход тепла на сушку, *ккал/час*;
 G_0 — вес абс. сухой древесины, *кг*;
 $q_{\text{исп}}$ — удельная теплота испарения, *ккал/кг*;
 w — относительная влажность древесины;
 c_0 — теплоемкость абс. сухой древесины, *ккал/кг град*;
 t — время, *час*;
 $\vartheta_{\text{мат}}$ — температура пиломатериалов, $^{\circ}\text{C}$;
 F_i — поверхность отдельных элементов ограждений камеры, м^2 ;
 k_i — коэффициент теплопередачи для отдельных элементов ограждений, *ккал/м² час град*;
 $\vartheta_{\text{с}}$ — температура сухого термометра-психрометра, $^{\circ}\text{C}$;
 $\vartheta_{\text{н}}$ — температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Первый член правой части уравнения (1) представляет теплоту испарения, второй — теплоту прогрева материала, третий — потерю тепла через ограждения камеры.

После преобразований и упрощений уравнение (1) примет вид

$$Q_{\text{р}}^{\text{исп}} = G_0 \cdot q_{\text{исп}} \cdot \frac{dw}{dt}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{р}}^{\text{исп}}$ — расход тепла на испарение влаги, *ккал/час*;
 $\frac{dw}{dt}$ — скорость сушки, *1/час*.

Приход тепла на испарение

$$Q_{\text{п}}^{\text{исп}} = Q_{\text{кал}} - Q_{\text{огр}} = F_{\text{кал}} \cdot k_{\text{кал}} \cdot (\vartheta_{\text{п}} - \vartheta_{\text{с}}) - \sum_{i=1}^n F_i \cdot k_i \cdot (\vartheta_{\text{с}} - \vartheta_{\text{н}}) \frac{\text{ккал}}{\text{час}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{кал}}$ — приход тепла от калориферов, *ккал/час*;
 $Q_{\text{огр}}$ — потеря тепла через ограждения, *ккал/час*;
 $F_{\text{кал}}$ — поверхность нагрева калориферов, м^2 ;
 $k_{\text{кал}}$ — коэффициент теплопередачи калориферов, *ккал/м² час град*;
 $\vartheta_{\text{п}}$ — температура греющего пара в калориферах, $^{\circ}\text{C}$.

В равновесном состоянии

$$Q_{\text{р}}^{\text{исп}} = Q_{\text{п}}^{\text{исп}}. \quad (4)$$

При наличии возмущающих воздействий уравнение (2) примет вид

$$q_{\text{исп}} \cdot G_0 \cdot \frac{dw}{dt} = Q_{\text{п}}^{\text{исп}} - Q_{\text{р}}^{\text{исп}} = x, \quad (5)$$

где x — результирующее воздействие на процесс сушки в равновесном состоянии процесса

$$x_0 = Q_{\text{п}0}^{\text{исп}} - Q_{\text{р}0}^{\text{исп}} = 0. \quad (6)$$

Возмущающие воздействия могут проявляться как со стороны прихода тепла, так и со стороны его расхода, в первом случае — на величину $\pm \Delta Q_{\text{п}}^{\text{исп}}$, во втором — на величину $\pm \Delta Q_{\text{р}}^{\text{исп}}$.

Рассмотрим поведение сушильной камеры как объекта регулирования в случае, когда имеют место возмущения с обеих сторон и отсутствует управляющее воздействие на процесс сушки. Тогда результирующее возмущение

$$x = \Delta Q_{\text{п}}^{\text{исп}} - \Delta Q_{\text{р}}^{\text{исп}}. \quad (7)$$

Возникшее возмущение начнет влиять на показатель сушильного процесса w . В общем случае можно полагать, что величины $Q_p^{исп}$ и $Q_n^{исп}$ функционально связаны с состоянием влажности w сушеного материала, а именно $Q_p^{исп} = f(w)$ и $Q_n^{исп} = f(w)$, причем эти функции нелинейные. Для линеаризации функций применим уравнение Тейлора для разложения в ряд функции одного независимого переменного и учтем лишь два первых члена разложения [2].

Получим следующие приближенные уравнения:

$$Q_p^{исп} \approx Q_{p0}^{исп} + \left(\frac{dQ_p^{исп}}{dw} \right)_0 \cdot \Delta w; \quad (8)$$

$$Q_n^{исп} \approx Q_{n0}^{исп} + \left(\frac{dQ_n^{исп}}{dw} \right)_0 \cdot \Delta w + \Delta Q_n^{исп}, \quad (9)$$

где Δw — отклонение влажности древесины от заданного значения вследствие возмущающих воздействий; эта величина переменная во времени. Индекс нуль указывает, что значение производных определяется при исходном установившемся режиме.

Подставив уравнения (8) и (9) в уравнение (5), получим

$$q_{исп} \cdot G_0 \cdot \frac{dw}{dt} = Q_{n0}^{исп} + \left(\frac{dQ_n^{исп}}{dw} \right)_0 \cdot \Delta w + \Delta Q_n^{исп} - Q_{p0}^{исп} - \left(\frac{dQ_p^{исп}}{dw} \right)_0 \cdot \Delta w. \quad (10)$$

Введем безразмерные относительные отклонения регулируемого параметра φ и возмущающего воздействия μ

$$\varphi = \frac{\Delta w}{w_0},$$

откуда

$$\Delta w = \varphi \cdot w_0;$$

$$\mu = \frac{\Delta Q_{исп}}{Q_{исп}^0},$$

откуда

$$\Delta Q_{исп} = \mu \cdot Q_{исп}^0;$$

$$d\varphi = \frac{dw}{w_0}.$$

Подставляя указанные безразмерные величины в уравнение (10), получим

$$q_{исп} \cdot G_0 \cdot w_0 \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \left[\left(\frac{dQ_n^{исп}}{dw} \right)_0 - \left(\frac{dQ_p^{исп}}{dw} \right)_0 \right] \cdot w_0 \cdot \varphi + \mu \cdot Q_{исп}^0. \quad (11)$$

Разделив уравнение (11) на величину $Q_{исп}^0$, после небольших преобразований получим

$$\frac{q_{исп} \cdot G_0 \cdot w_0}{Q_{исп}^0} \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \frac{w_0}{Q_{исп}^0} \cdot \left[\left(\frac{dQ_p^{исп}}{dw} \right)_0 - \left(\frac{dQ_n^{исп}}{dw} \right)_0 \right] \cdot \varphi = \mu. \quad (12)$$

В соответствии с общей теорией автоматического регулирования введем следующие обозначения:

время разгона

$$T_a = \frac{q_{исп} \cdot G_0 \cdot w_0}{Q_{исп}^0} \text{ час}; \quad (13)$$

коэффициент самовыравнивания объекта

$$\delta = \frac{w_0}{Q_0^{\text{нсп}}} \cdot \left[\left(\frac{dQ_p^{\text{нсп}}}{dw} \right)_0 - \left(\frac{dQ_n^{\text{нсп}}}{dw} \right)_0 \right]. \quad (14)$$

Подставив уравнения (13) и (14) в уравнение (12) и разделив полученное уравнение почленно на δ , приведем уравнение динамики сушки по сушиму материалу к общеизвестной форме дифференциального уравнения одноемкостного объекта

$$T \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k_{об} \cdot \mu, \quad (15)$$

где T — постоянная времени, равная $\frac{T_a}{\delta}$;

$k_{об}$ — коэффициент передачи или усиления объекта, равный $\frac{1}{\delta}$.

Так как рассматривалась лишь одна емкость сушильной камеры в абстрагированном состоянии от явлений промежуточного теплообмена, то запаздывание в теплообмене не учитывалось.

С учетом запаздывания уравнение (15) примет вид

$$T \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k_{об} \cdot \mu \cdot e^{-p\tau_0} \quad (16)$$

или в операторной форме

$$(Tp + 1) \cdot \varphi = k_{об} \cdot \mu \cdot e^{-p\tau_0}. \quad (17)$$

Уравнения переходной характеристики по влажности сушимого материала

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= k_{об} \cdot \mu \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-\tau_0}{T}} \right); \\ \varphi &= k_{об} \cdot \mu \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau_0-t}{T}} \right). \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Рассмотрим динамику процесса сушки относительно температуры сушильного агента.

Уравнение теплового баланса лесосушильной камеры периодического действия в стационарном режиме процесса сушки

$$Q_{кал}^0 = Q_{са}^0 + Q_{огр}^0 \frac{\text{ккал}}{\text{час}}, \quad (19)$$

где $Q_{са}^0$ — теплота нагрева сушильного агента, расходуемая на нагрев циркулирующего и свежего воздуха, ккал/час .

При наличии возмущающего воздействия со стороны прихода тепла уравнение нестационарного (переходного) режима

$$A \cdot \frac{d}{dt} (\vartheta - \vartheta_0) + G_{са} \cdot c_{вл} \cdot (\vartheta - \vartheta_0) = \Delta Q_{кал}, \quad (20)$$

где A — коэффициент емкости сушильной камеры, ккал/град ;

ϑ — новое значение температуры сушильного агента, $^{\circ}\text{C}$;

$G_{са}$ — весовой расход сушильного агента, представляющий собой сумму расходов вентилируемого (свежего) и циркулирующего воздуха.

$$G_{са} = G_{ц} + G_{пр} = B \cdot \frac{1000}{d_2 - d_1} + \frac{Q_{са}^B}{c_{вл} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)} \frac{\text{кг}}{\text{час}}. \quad (21)$$

Пренебрегая емкостью кладки, выразим коэффициент емкости

$$A = G_0 \cdot (c_0 + w) + V_{\text{ск}} \cdot c'_{\text{вл}} \frac{\text{ккал}}{\text{град}}, \quad (22)$$

где $V_{\text{ск}}$ — свободный объем камеры, заполненный сушильным агентом, м^3 ;

$c'_{\text{вл}}$ — объемная теплоемкость сушильного агента, $\text{ккал}/\text{м}^3 \text{град}$.

Чтобы привести уравнение (20) к безразмерному виду, умножим и разделим почленно левую его часть на ϑ_0 , а правую — на $Q'_{\text{са}}$.

Тогда получим

$$\vartheta_0 \cdot A \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{\vartheta - \vartheta_0}{\vartheta_0} \right) + G_{\text{са}} \cdot c_{\text{вл}} \cdot \left(\frac{\vartheta - \vartheta_0}{\vartheta_0} \right) \cdot \vartheta_0 = \frac{\Delta Q_{\text{кал}} \cdot Q'_{\text{са}}}{Q'_{\text{са}}}. \quad (23)$$

Разделив обе части уравнения (19) на $Q'_{\text{са}}$, получим окончательное дифференциальное уравнение динамики камеры по температуре сушильного агента

$$\frac{A \vartheta_0}{Q'_{\text{са}}} \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\vartheta - \vartheta_0}{\vartheta_0} \right) + \frac{G_{\text{са}} \cdot c_{\text{вл}} \cdot \vartheta_0}{Q'_{\text{са}}} \left(\frac{\vartheta - \vartheta_0}{\vartheta_0} \right) = \frac{\Delta Q_{\text{кал}}}{Q'_{\text{са}}}, \quad (24)$$

где $Q'_{\text{са}} = Q_{\text{са}}^0 \pm \Delta Q_{\text{кал}}$.

Чтобы привести уравнение (24) к общей форме уравнения одно-емкостного объекта с самовыравниванием, введем следующие обозначения:

время разгона

$$T_a = \frac{A \cdot \vartheta_0}{Q'_{\text{са}}} \text{ час}; \quad (25)$$

коэффициент самовыравнивания объекта

$$\delta = \frac{G_{\text{са}} \cdot c_{\text{вл}} \cdot \vartheta_0}{Q'_{\text{са}}}; \quad (26)$$

относительное отклонение температуры сушильного агента

$$\varphi = \frac{\vartheta - \vartheta_0}{\vartheta_0}; \quad (27)$$

относительная величина возмущающего воздействия

$$\mu = \frac{\Delta Q_{\text{кал}}}{Q'_{\text{са}}}. \quad (28)$$

После подстановки уравнений (25), (26), (27), (28) в выражение (24) получим

$$T_a \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \delta \cdot \varphi = \mu. \quad (29)$$

Разделив уравнение (29) на δ , получим

$$T \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k_{\text{об}} \cdot \mu. \quad (30)$$

Полученное уравнение (30) аппроксимирует объект регулирования по температуре сушильного агента, как апериодическое звено первого порядка без запаздывания.

С учетом запаздывания уравнение (30) примет вид

$$T \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k_{об} \cdot \mu \cdot e^{-p\tau_0} \quad (31)$$

или в операторной форме

$$(Tp + 1) \cdot \varphi = k_{об} \cdot \mu \cdot e^{-p\tau_0}. \quad (32)$$

Уравнения переходной характеристики по температуре сушильного агента

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= k_{об} \cdot \mu \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-\tau_0}{T}}\right); \\ \varphi &= k_{об} \cdot \mu \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau_0-t}{T}}\right). \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

Таким образом, динамические характеристики воздушно-паровых лесосушильных камер периодического действия с принудительной циркуляцией сушильного агента как объектов автоматического регулирования, аппроксимированных апериодическими звеньями первого порядка с запаздыванием, могут быть определены аналитически. При этом предлагаемый метод аппроксимации объекта по сушимому материалу может быть применен в случае, если регулирование ведется по обобщенной координате текущей влажности сушимой древесины в камере, а метод аппроксимации объекта по сушильному агенту — в случае, когда регулирование ведется по обобщенной координате температуры воздуха в камере в процессе сушки.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Е. Г. Дудников. Основы автоматического регулирования тепловых процессов. Госэнергоиздат, 1956. [2] М. М. Майзель. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. Изд-во «Высшая школа», 1964.

Поступила в редакцию
1 декабря 1965 г.

УДК 632.4

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ПОВРЕЖДЕНИЕ КОРНЕЙ И НАПЕННЫЕ ГНИЛИ
В ЕЛЬНИКАХ СРЕДНЕГО УРАЛА

А. Г. ШАВНИН

Кандидат сельскохозяйственных наук

(Приморский сельскохозяйственный институт)

Напенные гнили являются одним из основных пороков древесины ели и пихты на Среднем Урале. Их вызывают дереворазрушающие грибы, проникающие в древесину ствола, как правило, через поранения корней и комлевой части ствола деревьев.

Одну из причин поранения корней мы наблюдали при изучении возрастного строения и хода роста елово-пихтовых насаждений*. Большинство этих насаждений произрастало на мелких глинистых и суглинистых почвах, лежащих на каменной основе известняков и кварцитов. Ель и пихта имели обычную для таких условий поверхностную корневую систему, недостаточно прочно закрепленную в почве. О слабом закреплении корневых систем свидетельствовало наличие ветровала. В ряде случаев было заметно незначительное движение корней при сильном ветре.

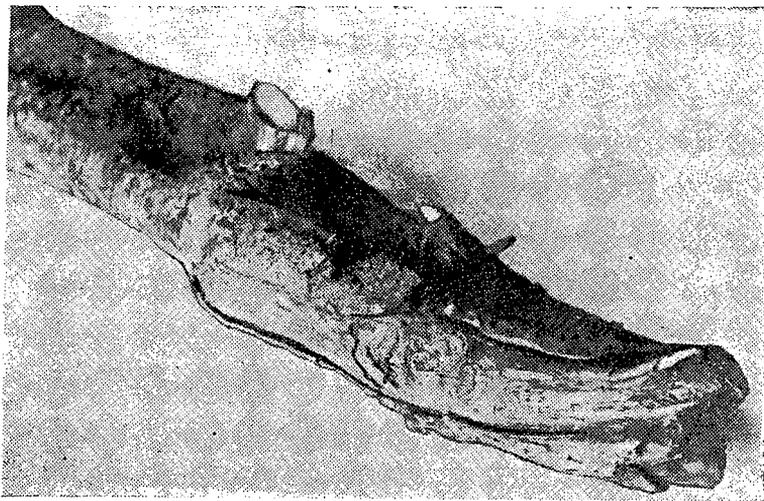


Рис. 1.

Обследование 100 поваленных ветром деревьев показало, что в их корневых системах встречаются загнившие старые обрывы корней иногда довольно крупных размеров. У 89 деревьев мы наблюдали многочисленные поранения корней о камни подстилающих горных пород. Края поранений были окружены слоистым каллюсом, что указывало на многолетний и систематический характер повреждений (рис. 1).

* А. Г. Шавнин. Ход роста разновозрастных елово-пихтовых насаждений. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 2, 1961.

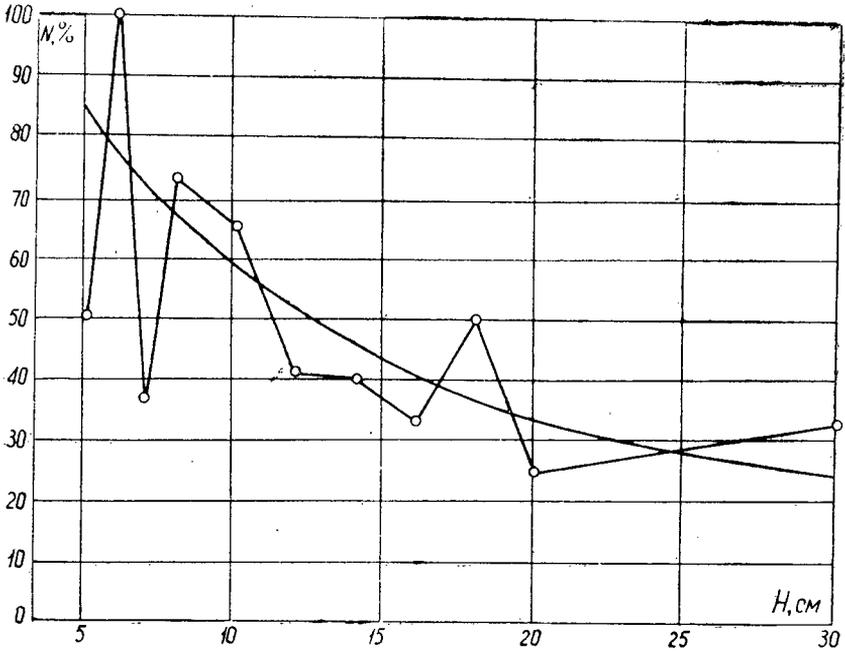


Рис. 2.

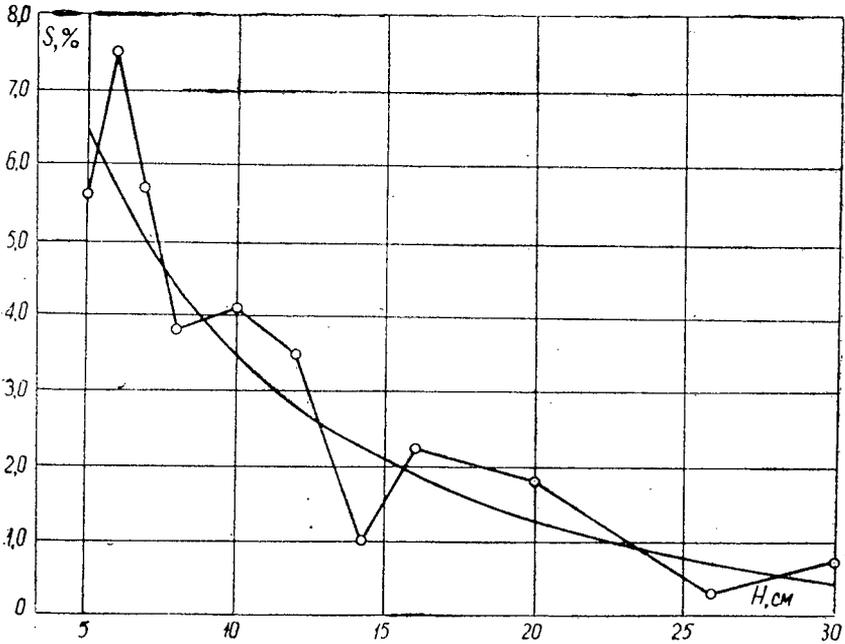


Рис. 3.

С уменьшением глубины почв количество пораненных корней увеличивается. Эту зависимость устанавливали сопоставлением площадей поранений корней деревьев и глубины почвенного слоя на месте их произрастания H . Площадь поранений S выражали в процентах от площади опоры корней. Последнюю вычисляли как проекцию корней дерева на почву. Характер полученной зависимости приведен на рис. 2.

Из графика видно, что на почвах глубиной 5—7 см поранения составляли около 7% площади опоры корней. По мере увеличения толщины почвенного слоя площадь поранений убывала по кривой типа гиперболы. При глубине почв свыше 40 см механических повреждений корней не встречалось.

В местах повреждений корней древесина, как правило, поражалась гнилями. Корневые гнили, распространяясь в направлении ствола, переходили в напенные.

Напенные гнили, так же как и корневые, чаще встречались на мелких почвах. С увеличением глубины почв количество их N уменьшалось. Характер зависимости, аналогично предыдущему случаю, выразился гиперболой (рис. 3).

Содержание иллюстраций отражает связь между глубиной почвенного слоя, поранениями корней о камни подстилающих горных пород и распространением напенных гнилей. Эта зависимость может иметь существенное практическое значение. Она позволит точнее устанавливать количество фаутов, возникших от напенных гнилей, и будет способствовать повышению качества товарной оценки древостоев.

Поступила в редакцию
20 июля 1964 г.

УДК 634.0.232

ОБМЕРЗАНИЕ КУЛЬТУР ЛИСТВЕННИЦЫ В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Л. А. ЕРШОВ

Кандидат сельскохозяйственных наук

(Северная ЛОС)

Лиственница Сукачева в обследованных районах не образует чистых древостоев, но часто встречается как примесь в составе еловых насаждений на наиболее плодородных и относительно дренированных почвах, подстилаемых на небольшой глубине известняковыми моренными отложениями. Наличие в этих районах благоприятных почвенных условий, быстрый рост и высокое качество древесины лиственницы делают ее весьма перспективной породой при искусственном лесоразведении. Суровость климата до настоящего времени не представлялась серьезной помехой, так как в естественных условиях лиственница более всего распространена в восточных районах СССР, характеризующихся резко континентальным климатом с сильными морозами в зимние месяцы. Из литературы [1], [5] также было известно, что лиственница мало чувствительна к низким температурам.

Однако, работая в 1962—1963 гг. на территории Северного леспромхоза (63°28' северной широты, 40°32' восточной долготы) с культурами лиственницы, мы столкнулись с тем, что в эти годы растения лиственницы на лесокультурных участках, имевшие возраст 8—10 лет и среднюю высоту 0,8—1,2 м, повреждались ранними летними заморозками в такой степени, что отмирала не только хвоя, но и побеги на протяжении 50—100 см. Часть растений погибала полностью (рис. 1).

При попытке отыскать участки неповрежденных культур или естественных молодых лиственницы (а они требовались для выполнения работ, связанных с прививками) мы убедились, что заморозки не повредили лишь те растения, которые были хорошо укрыты пологом других пород.

По фенологическим наблюдениям Северной ЛОС [4], лиственница в 1962 г. закончила охвоение к 26 мая, а в 1963 г. — к 22 мая. Но в эти годы в первой декаде июня наблюдались сильные снегопады, а температура воздуха в течение пяти дней в 1962 г. и девяти дней в 1963 г. опускалась до -3°C . Именно после этих заморозков вся хвоя погибла, и только к концу июня в нижних частях растений появились пучки новой хвои. При осмотре культур лиственницы в Шелековском лесничестве Савинского леспромхоза выяснилось, что летние заморозки 1962—1963 гг. нанесли еще более тяжелые повреждения культурам лиственницы. Культуры пострадали так сильно, что при лесоустройстве в 1963 г. были описаны как безнадежные 6 га культур 1959 г. (квартал 67) и 4 га — 1958 г. (квартал 61).

Продолжая наблюдения за этим интересным явлением в 1964 г., мы установили, что в конце весны и начале лета 1964 г. заморозки были более слабые, температура воздуха при этом не опускалась ниже -1°C . Они лишь в слабой степени повредили хвою лиственницы и не отразились на состоянии побегов. Это позволяет сделать вывод о том, что для культур лиственницы губительна температура воздуха ниже -1°C в период распускания хвои или вскоре после этого.

Для того чтобы установить, насколько велика вероятность повреждения культур лиственницы в этих районах, были использованы сведения о сроках распускания хвои лиственницы и данные Архангельского управления гидрометеослужбы о заморозках по декадам мая и июня. По фенологическим наблюдениям Северной ЛОС [4], за последние 10 лет период массового охвоения лиственницы приходился чаще всего на третью декаду мая и всегда заканчивался в первой декаде июня. Архангельское же управление гидрометеослужбы свидетельствует [2], что в этих районах вероятность лет с заморозками и температурой -3°C в третьей декаде мая равна 21%, а в первой декаде июня —



Рис. 1. Культуры лиственницы посева 1954 г.,
Северное производственно-показательное
лесничество, квартал 92.

13%. Поскольку заморозки одинаково опасны и в конце мая, и в начале июня, суммарная вероятность их превышает 30%, то есть очень высока. Может быть, именно этим и объясняется тот факт, что, вопреки благоприятным почвенным условиям, здесь не встречаются чистые лиственничные древостой, поскольку, по данным Климатического атласа СССР [3], в сибирских районах распространения лиственницы наибольшие разности между температурами воздуха в 13 час. и средним минимумом приходятся не на июнь, как в Архангельской области, а на март и апрель. Во всяком случае, возможность обмерзания молодняков и культур лиственницы следует принимать во внимание при закладке лиственничных культур, а при работах с прививками в целях создания лесосеменных плантаций явление это может быть решающим.

Нам кажется очевидным, что для успешного культивирования лиственницы в северных районах нужен селекционный отбор морозостойких форм и разработка такой агротехники, при использовании которой выращиваемые растения были бы защищены от действия раннелетних заморозков.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. И. Ванин. Дендрология. Гослесбумиздат, 1960. [2]. Бригада авторов. Агроклиматический справочник по Архангельской области. Л., 1961. [3]. Бригада авторов. Климатический атлас СССР. М., 1961, стр. 45—46. [4]. А. И. Нефедов. Отчеты по фенологическим наблюдениям за вегетационные периоды 1962—1963 гг. Северная ЛОС. [5]. В. Н. Сукачев. Дендрология с основами лесной геоботаники. Гослестехиздат, 1934.

УДК 01

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

ПОЛЕЗНОЕ ПОСОБИЕ

Издательство «Лесная промышленность» опубликовало книгу Б. Н. Уголева «Испытания древесины и древесных материалов». Эта книга найдет благодарных читателей не только среди студентов высших лесотехнических учебных заведений, но и среди инженеров и научных работников, занимающихся изучением и использованием древесины.

Древесина весьма широко и разнообразно применяется в народном хозяйстве. Не удивительно поэтому, что зачастую возникает необходимость изучения строения и физико-механических свойств этого ценного природного материала. Приходится изучать микроскопическое строение древесины, количественно оценивать разные стороны влияния влажности на физико-механические ее свойства, оценивать плотность древесины, ее проницаемость для жидкостей и газов, тепловые и электрические свойства. В последнее время внимание научных работников и инженеров все больше привлекают проблемы, связанные с воздействием на древесину разных видов излучений. Много внимания уделяют также изучению звуковых свойств древесины, не говоря уже о массовых определениях различных показателей механических свойств древесины.

До последнего времени у нас не было книги, в которой были бы рассмотрены достаточно подробно и на современном научном уровне методы испытаний древесины, вследствие чего подчас приходилось затрачивать много времени на знакомство с многочисленными разрозненными публикациями в этой области. Этот пробел ликвидирован с выходом в свет книги Б. Н. Уголева, являющегося крупным специалистом в области испытаний древесины.

В рецензируемой книге не только предельно ясно описаны стандартные мето-

ды испытаний древесины, приборы и приспособления для проведения испытаний и методика обработки результатов, но и рассмотрены многие новые перспективные методы испытаний, известные далеко не каждому научному работнику. (В создании ряда новых методов деятельное участие принимал автор книги.)

Особо следует отметить раздел IV книги, где рассмотрены реологические испытания древесины, которые все шире используются при оценке этого материала. В этом разделе впервые в отечественной литературе четко и ясно сформулированы основные сведения о реологии и даны точные характеристики методов испытаний древесины на длительное сопротивление, на усталость и, что на наш взгляд особенно важно, рассмотрены реологические свойства древесины и внутренние напряжения.

Познавательная ценность книги Б. Н. Уголева (особенно для научных работников) заметно возрастает в связи с тем, что в каждом ее разделе дана исчерпывающая сводка литературы по рассмотренным вопросам.

Вызывает досаду то обстоятельство, что при подготовке книги к опубликованию допущен промах: по недосмотру раздел II, в котором идет речь о физических свойствах древесины, в оглавлении назван «Определение показателей механических свойств древесины», а раздел III, трактующий о механических свойствах, озаглавлен «Определение показателей физических свойств древесины». К счастью, в тексте книги такой путаницы нет.

В. Н. Петри.

Профессор, доктор сельскохозяйственных наук.

(Уральский лесотехнический институт)

УДК 012

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

КРУПНЫЙ ЗНАТОК ЛЕСОВОДСТВА

Н. С. НЕСТЕРОВ

(К 40-летию со дня смерти)

Николай Степанович Нестеров — один из видных деятелей лесной науки. После окончания реального училища в Ростове-на-Дону в 1880 г. Н. С. Нестеров поступает в Петровскую земледельческую и лесную академию (ныне Сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева). По окончании ее в 1884 г. Н. С. Нестеров был оставлен на кафедре лесоводства у проф. М. К. Турского для подготовки к научной и педагогической деятельности. Через два года, после защиты диссертации «Значение осины в русском лесоводстве», он получает ученую степень кандидата и назначается на должность ассистента кафедры лесоводства, где работает в течение трех лет.

В начале 1889 г. Н. С. Нестеров был направлен на два года в научную командировку в европейские страны, по возвращении из которой он был назначен начальником экспедиционного отделения Лесного департамента. За время работы в Лесном департаменте Н. С. Нестеров с научной целью посетил США и Канаду, где изучил ряд лесотехнических производств.

После смерти проф. М. К. Турского в 1900 г. Н. С. Нестеров был избран профессором кафедры лесоводства Петровской академии и в течение четверти века, до конца своей жизни (30 мая 1926 г.), возглавлял эту кафедру и вел большую педагогическую и научную работу. Н. С. Нестеров проводил важнейшие исследования и стал одним из корифеев лесоводственной науки, заложивших фундаментальные основы в учении о лесе.

Особенностью научной деятельности Н. С. Нестерова явилось его умение сочетать изучение лесов и лесного хозяйства в тесной связи с сельским хозяйством и лесной промышленностью. Оригинальность научных исследований Н. С. Нестерова заключалась в постановке и проведении длительных стационарных наблюдений и опытов в различных направлениях. Проводя эксперименты более трех десятков лет и стационарные лесогидрологические наблюдения на большом участке Петровской лесной дачи, Н. С. Нестеров дал глубокие и точные ответы по многим вопросам гидрологии леса, взаимосвязи между древесными разного состава и средой их обитания и влиянию среды.

Н. С. Нестеров считал, что акклиматизация древесных пород — благородней-

шая область экономики. С начала текущего столетия акклиматизация древесных пород в лесной даче академии расширена с введением в культуру флоры Северной Америки и Дальнего Востока, причем наряду с древесными породами широко внедряют кустарники.

Для разрешения вопроса о влиянии густоты посадок на рост леса Н. С. Нестеров с первых лет руководства лесной дачей заложил серию опытных культур сосны и елью. Н. С. Нестеров охватывал и вопросы лесной экономики. Он изучал рыночный прирост ценности древесины и собирал многолетние данные по стране о движении цен на лес, работал над методами определения денежной доходности лесного хозяйства.

В 1899 г. Н. С. Нестеров вместе с Н. А. Филипповым основали в бывшем Петербургском институте еженедельный журнал «Лесопромышленный вестник». В течение 19 лет Н. С. Нестеров был редактором и главным сотрудником этого журнала.

Как преподаватель в высшей сельскохозяйственной школе Н. С. Нестеров стремился поставить изучение лесной науки в таком объеме, чтобы окончивший академию агроном мог успешно вести лесоводственную работу. Лекции Н. С. Нестерова были глубоко содержательны, представляли собой стройную систему научных идей.

Н. С. Нестеров осуществлял руководство Московским лесным обществом. Борьба за охрану природы, широкая пропаганда лесоразведения и распространения лесохозяйственных знаний была предметом постоянных забот Н. С. Нестерова.

Н. С. Нестеров правильно понимал взаимосвязь лесных пород с внешней средой. В оценке типов леса он стоял на пути истинно научно-материалистического познания.

Будучи весьма прогрессивным общественным деятелем, Н. С. Нестеров с восторгом встретил Великую Октябрьскую социалистическую революцию.

Изучение научного наследства Н. С. Нестерова весьма ценно и полезно.

А. А. Кайсин.

*Научный сотрудник,
кандидат географических наук.
(КирНИИЛП).*

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

В. К. Захаров. Исследование текущего прироста наличного древостоя по методу нормальных видовых чисел	3
Б. В. Бабиков. Влияние кислорода, растворенного в воде, на всхожесть семян сосны обыкновенной	9
Р. В. Ламанова. Участие лиственницы в возобновлении лесосек после сплошных рубок сосновых лесов Среднего Урала	12
Л. Б. Калинин. Рост ели и экологические особенности в елово-лиственных молодняках	14
О. А. Неволнин. Ход роста сосново-березовых древостоев высшей производительности в Архангельской области	19
Е. Е. Шкапо. Некоторые придержки для определения смолопродуктивных сосен по внешним признакам	24
Д. А. Машков. Расчет влияния давности рубки на прочность пней и обработку почвы	27
З. И. Рубцов. О возобновлении ольхи черной в Брянском лесном массиве	30
Н. Г. Петров. К вопросу подбора пород при создании защитных насаждений крупномерным посадочным материалом	34
В. Г. Картелев. Влияние качества семян сосны на приживаемость и рост культур при механизированной посадке	37
И. И. Молоткова. Закономерности распределения деревьев по толщине в разновозрастных пихтовых насаждениях Закарпатья	42
В. С. Шага. Основные ассоциации тополевых лесов поймы р. Буреи	47

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

В. Ф. Попов, В. П. Тюкавин. Метод определения технического состояния плужерных пар при подаче топлива в замкнутую камеру	51
П. В. Матвеев, А. А. Санников, И. Г. Шкаленко. Сцепные качества дорожного покрытия из цемента-грунта с поверхностной обработкой	58
В. А. Лапчев. Сопротивляемость узкоколейной рельсо-шпальной решетки поперечному изгибу	64
А. Д. Титова. К вопросу о креплении русла в нижнем бьефе лесосплавных плотин	71
Г. К. Ленюк. К вопросу о динамике сцепа-транспортера ужд	78
А. Д. Юричев, Г. З. Ильин. Исследование грунтов, укрепленных битумными эмульсиями	85
Н. И. Кокарев. Уровень рентабельности в зависимости от концентрации лесозаготовительного производства	90

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Б. А. Билюградов. Дисбаланс режущего инструмента фрезерного станка по дереву и микрогеометрия фрезерованной поверхности	94
Г. М. Гернет. Точность установки подвижной пилы обрезных станков с гидравлическим приводом	100

В. А. Куликов. Давление прессования при склеивании слоистой древесины и его связь с топографией лущеного шпона	105
Ю. М. Стахеев. Влияние вальцевания на напряженное состояние дисковых пил	112
Г. Е. Шалтыко, Р. А. Сохор, Э. А. Краснова. Сланцевые смолы как антисептики древесины	115

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Э. А. Коржицкая, И. С. Хуторщиков. О фракционном составе сульфатных облагороженных целлюлоз из древесины лиственницы	123
В. Н. Пилякин, А. К. Славянский. Исследование процесса пиролиза древесины методом термогравиметрического анализа	127
О. А. Дмитриева, Н. П. Потапова, Г. П. Вагер, В. И. Шарков. Исследование возможности ускорения гидролиза целлюлозы и древесины с помощью ультразвука	134
О. М. Соколов, Б. Д. Богомолов, Э. В. Веселова. Определение молекулярного веса лигнинов методом седиментационных скоростей	139

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Г. А. Вильке. О психологической нагрузке оператора раскряжевочного агрегата	146
А. А. Кудинов. Определение критериев психологической нагрузки человека-оператора раскряжевочных агрегатов	149
Л. В. Леонов. О количестве информации, определяющей сучковатость хлыстов	155
А. А. Смирнов, Г. П. Кузьминов. Математическое описание воздушно-паровой лесосушильной камеры периодического действия как одноемкостного объекта регулирования с запаздыванием	163

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

А. Г. Шапкин. Повреждения корней и напечные гнили в ельниках Среднего Урала	169
Л. А. Ершов. Обмерзание культур лиственницы в северных районах Архангельской области	172

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

В. Н. Петри. Полезное пособие	174
---	-----

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

А. А. Кайсин. Великий знаток лесоводства Н. С. Нестеров	175
---	-----

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«Лесной журнал» № 1

Сдан в набор 4/ХІІ-65 г. Подписан к печати 12/ІІ-66 г. Форм. бум. 70x108/16. Физич. л. 11.
Печ. л. 15,4. Уч.-изд. л. 14,56. Тираж 1600. Сл. 00427. Заказ 2036.

Типография им. Склепина, г. Архангельск, набережная В. И. Ленина, 86.

№ п/п.	Препарат лигнина	Древесина	Растворитель	Метод определения молекулярного веса	Молекулярный вес	Автор и ссылка на литературу
Сульфатные и натронные лигнины						
1	Сульфатный	Ель + сосна	Фенол	Криоскопический	788	А. А. Соколова
2	Сульфатный нефракционированный	Ель	Ацетон	Осмотический	10080 10280	[3]
3	" "	"	Пиридин	"	9700 9960	[3]
4	Сульфатный; фракция, растворимая в спирте	"	Спирт	"	3630 4880	[3]
5	Сульфатный; фракция, не растворимая в спирте	"	Ацетон	"	20580 19400	[3]
6	Сульфатный	"	Диоксан	Светорассеивания и вискозиметрический	5600—25000*	[19]
7	Натронный технический	—	н-диметиланилин	Криоскопический	250 ± 15	Цитир. по [4]
8	Натронный	Ель	Диоксан	Светорассеивания и вискозиметрический	28000—146000*	[19]
9	Периодатный, подвергнутый натронной варке	"	NaOH + NaHCO ₃ буфер pH=9,65	Светорассеивания	50000—48000000*	[16]
10	" "	"	NaOH + NaHCO ₃ буфер pH=9,65	Ультрацентрифуги	Скорость седиментации 2,2—46s*	[17]
Лигнины, извлеченные органическими растворителями						
11	Спиртовый	Ель	Уксусная кислота	Криоскопический	427—840	Цитир. по [5]
12	Метанолигнин	"	Метиловый спирт	Осмотический	3510 3520	[20]
13	" "	"	"	Диффузии	7350 ± 300	[20]
14	" "	"	Хлороформ	Эбулиоскопический	3640 ± 100	[20]
15	Гликольлигнин	"	Фенол	Криоскопический	569	Цитир. по [5]
16	Лигнин Браунса	"	—	Осмотический	2800—6700*	[18]
17	Лигнин Бьеркмана	"	—	Ультрацентрифуги	11000	[10]
18	Диоксанлигнин	"	Пиридин	"	4100—85000*	[22]
19	Тиогликолевокислотный	"	0,2 н. NaOH + 0,1 н. NaCl	Ультрацентрифуги и диффузии	4000—34000	[15]
Лигносульфаты						
20	Лигносульфаты	Ель	—	Осмотический	3700—58000*	[13]
21	Лигносульфаты нефракционированные	"	0,1 н. KCl в воде	Диффузии	5050	[9]
	фракция А	"	"	"	8030	
	" В	"	"	"	7770	
	" С	"	"	"	1710	
	" Д	"	"	"	1000	
22	Лигносульфоновые кислоты	"	Вода	"	—	[12]
	I фракция	"	"	"	9500	
	II "	"	"	"	2140	
	III "	"	"	"	250—920	
23	Лигносульфаты	"	"	Светорассеивания	8600—138000*	[21]

* Молекулярные веса отдельных фракций.

МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ



ЛЕСНОЙ
ЖУРНАЛ



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

**Подписывайтесь
на журнал на 1966 г.**

**«ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ»
МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР**

Р а з д е л

„ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ“

«Лесной журнал» выходит один раз в два месяца номерами по 15 печатных листов каждый. Подписная цена на год — 6 руб. Цена отдельного номера — 1 руб.

Подписка принимается органами «Союзпечати». В случае отказа в приеме подписка может быть оформлена через редакцию.

По заявке, направленной в редакцию, комплекты журналов и отдельные номера за 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965 и 1966 гг. высылаются наложенным платежом.

Адрес редакции: Архангельск, Набережная В. И. Ленина, 17, АЛТИ, «Лесной журнал».