

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

---

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

*Лесной журнал*

ГОД ИЗДАНИЯ СЕМНАДЦАТЫЙ

6

1974

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Проф. **И. М. Бюховкин** (отв. редактор), доц. **Е. С. Романов** (зам. отв. редактора), доц. **С. И. Морозов** (зам. отв. редактора), проф. **Н. М. Белая**, доц. **П. И. Войчалъ**, проф. **И. В. Воронин**, проф. **М. Л. Дворецкий**, 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**, доц. **В. О. Самуйлло**, проф. **В. Н. Худоногов**, проф. **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 вузов и техникумов, студентов старших курсов лесотехнических институтов.

Выходит 6 раз в год.

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974.

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

---

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 6.  
(Год издания семнадцатый)

---

Сдан в набор 11/X 1974 г. Подписано к печати 17/XII 1974 г.  
Форм. бум. 70X108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печ. л. 15,4 + 1 вкл. Физ. печ. л. 11. Уч.-изд. л. 15,65.  
Тираж 2350. Сл. 00129. Заказ 7926. Цена 1 руб.

---

Типография им. Склепнина, г. Архангельск, Набережная В. И. Ленина, 86.

УДК 634.0.907

**ВАЖНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗЕЛЕННЫХ ЗОН***Р. В. БОБРОВ*

Министерство лесного хозяйства РСФСР

В настоящее время идет интенсивный процесс переоценки многих сложившихся представлений о взаимоотношениях человека с природой. В полной мере это касается и изменений во взглядах на лес.

Чрезмерная вырубка леса связана с великолепными, почти универсальными свойствами древесины как природного промышленного материала. Но ценность прижизненных полезностей леса растет быстрее, чем стоимость получаемой из него древесины. Особенно возросла санитарно-гигиеническая значимость лесов. Прижизненная ценность и использование лесов повышаются повсеместно. Во всех странах растет количество заповедников, национальных парков, резерваций.

История создания зеленых зон для отдыха населения в нашей стране такова. В 1943 г., когда над страной еще висела грозная опасность, советское правительство приняло решение о сохранении ценнейших лесных массивов, выделив их из общего состава лесов в так называемые леса I группы. К ним были отнесены и леса, расположенные вокруг городов и крупных населенных пунктов. За пригородными лесами был установлен тщательный надзор и уход.

С ростом старых городов и строительством новых увеличились и площади лесов зеленых зон. Сейчас зеленые зоны в состоянии принять всех посетителей и обеспечить нормальные условия отдыха. Но поток желающих отдохнуть в лесу возрастает, поэтому перед работниками лесного хозяйства все острее встает проблема организованного приема гостей и создания условий, благоприятных для отдыха.

В настоящее время лесоводы, ухаживая за пригородными лесами, берут за образец парковые насаждения. Но, по-видимому, полностью согласиться с такой концепцией нельзя. Зеленые зоны должны включать в себя самые разнообразные категории лесов: парки, лесопарки, леса, обустроенные туристскими стоянками, и, конечно, участки «дикого», нетронутого леса. Последние необходимы не только как места особой эстетической ценности, но и как резерваты естественной природы. Подход к хозяйству на всех этих участках должен быть различным. И чтобы не сожалеть впоследствии о допущенных ошибках, сейчас должна быть абсолютная ясность в направлении хозяйства зеленых зон. Задача эта значительно сложнее, чем кажется с первого взгляда. Обстоятельных научных исследований по организации ведения лесного хозяйства в лесах, предназначенных для отдыха, практически нет. Имеющиеся рекомендации по ландшафтному и лесопарковому строительству, отдельные исследования по санитарно-гигиенической эффективности древостоев решают проблему лишь частично и пока не определяют принципиальных основ ведения лесного хозяйства в зеленых зонах в современных условиях.

Производство не может стоять на месте. Лесоводы в меру своих сил пытаются самостоятельно находить пути улучшения пригородных лесов. При этом особую сложность вызывают работы по благоустрой-

ству туристских зон. Тот небольшой опыт, который лесоводы РСФСР приобрели при строительстве туристских стоянок в лесу, показывает, что стихийная застройка лесов даже легкими небольшими сооружениями может безвозвратно испортить красивый лесной ландшафт.

Этого не произойдет, если зоны отдыха в лесу будут создаваться по заранее составленным проектам. Лучшими окажутся те проекты, которые органически впишутся в окружающий ландшафт. Обычно для изготовления укрытий и оборудования мест отдыха используют природные материалы: камни, плахи, круглые отрубki деревьев.

Существенным разделом благоустройства зон отдыха являются средства лесохозяйственной пропаганды: плакаты, аншлаги, природные памятники и т. д. Они призваны помочь людям понять красоту лесов, воспитать ответственность за их сохранность. К сожалению, пока эти работы в лесничествах ведутся стихийно и нередко недостаточно квалифицированно.

Министерство лесного хозяйства РСФСР принимает меры к тому, чтобы благоустройство пригородных лесов и лесохозяйственную пропаганду направить в организованное русло. В Ленинградском управлении создана конструкторско-технологическая группа по проектированию малых архитектурных форм для обустройства мест отдыха. Ленинградский филиал Центра НОТ проводит в этом году работу по эстетической оценке применяемых лесхозами области проектов благоустройства лесов. На 1974 г. намечен выпуск каталога плакатов, панно, аншлагов. Организованы отделы информации и пропаганды в Центральной авиабазе и Минлесхозе РСФСР. Все это лишь первые шаги, которые должны положить начало применению современных способов лесохозяйственного производства в лесах зеленых зон. Логическим продолжением их должна стать организация проектных подразделений и конструкторских бюро по проектированию мест отдыха, создание мастерских по разработке и изготовлению средств лесохозяйственной пропаганды. Но все это станет реальным при наличии обстоятельных исследований указанных вопросов. Министерство лесного хозяйства будет всячески поощрять поиски специалистов лесхозов и лесничеств, научных учреждений в этом направлении. Особенно большие надежды возлагаются на помощь архитекторов, дизайнеров, психологов, специалистов ландшафтного лесоводства.

Благоустройство мест отдыха в лесах РСФСР до сих пор ориентировалось на самообслуживание посетителей. Лесоводы стремились при этом (главным образом, исходя из ведомственных соображений) предупредить всякого рода нарушения правил пользования лесом и оградить от вытаптывания и порчи наиболее привлекательные места. Разумеется, при таком подходе к делу человек, поплавший в лес, может рассчитывать лишь на самую элементарную помощь со стороны лесников: укрытие от непогоды и место для очага.

В план 1974 г. Всесоюзного объединения «Леспроект» по заказу Калининского управления лесного хозяйства включено проектирование на берегу оз. Селигер базы отдыха, куда входят, кроме укрытий различных типов, стоянки для автомашин, спортивные сооружения, прокатные пункты туристского снаряжения и спортивного инвентаря. Предполагается, что обслуживать базу будут выездные бригады работников коммунального хозяйства, райпищеторга, культпросветучреждений.

Опыт работы базы в будущем покажет, какая форма бытовых услуг на ее территории наиболее рациональна. Не исключено, что и работники лесхозов найдут для себя широкое поле деятельности в сфере бытового обслуживания людей, приезжающих в лес на отдых. Правда,

до сегодняшнего дня эти работы не входили в список лесохозяйственных мероприятий, предусматриваемых народнохозяйственным планом. Сейчас возникла необходимость планировать благоустройство мест отдыха по специальной статье операционных расходов.

Не исключается и «коммерческое» обслуживание людей, приезжающих в лес. Лесничествам под силу организация проката туристского снаряжения, устройство небольших кемпингов и оказание других платных услуг.

Сохранение участков нетронутой природы на территории зеленых зон, несмотря на кажущуюся простоту, пожалуй, одно из наиболее трудных мероприятий. Оградить не тронутые хозяйственной деятельностью человека лесные массивы от потока любопытных нелегко и, по-видимому, потребуется специальная система, регламентирующая посещение этих мест.

Величина нетронутых лесов будет зависеть от многих обстоятельств, в том числе, от площади сохранившихся девственных лесов, территории зеленой зоны, плотности населения, эстетической и научной ценности участков, видового состава лесной фауны. Предварительно, до разработки научных норм таких участков, можно было бы ориентироваться на следующие требования к «диким лесам», принятые во многих зарубежных странах: отсутствие каких-либо видов хозяйственной деятельности как в прошлом, так и в настоящее время; площадь не менее 2 тыс. га; наличие научного интереса с экономической, геологической, географической, исторической точек зрения.

За последнее время появились высказывания о максимальном сборе лесного урожая древесины чуть ли не со всех лесных земель без исключения. В связи с этим могут возникнуть упреки по поводу создания резерваций нетронутой природы. Не вступая в полемику по этому вопросу, хочется лишь напомнить слова М. М. Пришвина: «Если будет вода и в ней ни одной рыбки — я не поверю воде, и пусть в воздухе кислород, но не летает в нем ласточка — я не поверю и воздуху. И лес без зверей с одними людьми — не лес».

Не говоря уже о неопределимом научном значении участков нетронутой природы для сохранения и воспроизводства лесной фауны, отметим, что они просто необходимы, так как ухоженный лес не станет родным домом для диких зверей. Потерю опада усыхающего леса в резервациях нельзя полностью относить в убытки, так как мертвые деревья — это источник пищи в цепи жизненных процессов лесного биоценоза. Восполнить эту потерю можно путем интенсификации ведения лесного хозяйства на остальной территории зеленых зон и лесов I группы других категорий защитности. Резервы лесосечного фонда для организации заготовки древесины здесь пока еще далеко не исчерпаны.

Однако все пожелания в части улучшения лесных зон и создания там благоприятных условий окажутся бесполезным прожектерством без надлежащей технической базы. К сожалению, в этом отношении лесоводы в настоящее время испытывают большие затруднения.

Прежде всего, это относится к системам машин, необходимых для выборочных рубок. Именно эти обстоятельства, а не так называемый «консерватизм», в котором подчас обвиняют лесоводов, прежде всего, тормозят использование лесов I группы, в том числе лесов зеленых зон для заготовки в них древесины.

Попытки работников лесного хозяйства приспособить лесозаготовительную технику, изготовленную для сплошных лесоразработок на выборочных рубках, желаемых результатов не принесли. Изрезанные трелевочными волоками пригородные леса вызывают у людей,

приехавших в лес на отдых, скорее недоумение, чем эстетическое удовольствие.

К сожалению, в лесном хозяйстве нет даже «задела» по созданию валочно-трелевочного комбайна, пригодного для выборочных рубок. Это отставание может катастрофически сказаться на дальнейших работах по улучшению пригородных лесов, уходу за лесом и ведении хозяйства в лесах повышенной защитности.

Из последних конструкторских работ лесохозяйственного машиностроения интересными нам кажутся лишь предложения Ленинградской лесотехнической академии. Взяв за основу узлы серийных сельскохозяйственных тракторов, проф. С. Ф. Орлов с сотрудниками разрабатывают маневренные лесные транспортные колесные системы, которые можно использовать на лесохозяйственных работах. Они могли бы быть хорошо приняты в лесхозах и в связи с тем, что их эксплуатация и ремонт в условиях сельской местности на базах «Сельхозтехники» легче, чем ремонт чисто лесохозяйственных моделей.

Однако высокопроходимые тракторы — это лишь основа для будущих лесохозяйственных валочно-трелевочных машин, погрузочных, посадочных, опрыскивающих и других механизмов, способных работать в сложных условиях лесов зеленых зон. Работники лесного хозяйства настойчиво ищут прототипы таких механизмов в смежных отраслях народного хозяйства, приспособливают для своих целей технику, имеющуюся в других ведомствах. Решающая роль в этом отношении остается за учеными и конструкторами. Мы уверены, что совместные усилия науки и производства откроют теоретические и технические возможности для того, чтобы превратить леса зеленых зон в источник материального благополучия и могучее средство удовлетворения растущих духовных потребностей общества.

---

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 634.0.56

СТРОЕНИЕ МОЛОДНЯКОВ СОСНЫ  
ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Ф. П. САДОВНИЧИЙ

Московский лесотехнический институт

Исследования проведены с целью установления ряда распределения числа стволов по ступеням толщины в молодняках сосны; с учетом коэффициентов варьирования уточняется определение запасов по ступеням толщины; рассматривается влияние увеличения возраста и среднего диаметра на распределение числа стволов по ступеням толщины.

Проф. М. М. Орлов [1] при характеристике насаждений выделял две возрастные стадии молодняков: «...первый следует различать, когда дерево формируется и приобретает свои, отличительные от кустарника, признаки формы, и второй, последующий, — когда ствол уже окончательно сформирован и начал очищаться от нижних сучьев и ветвей».

В наставлениях по рубкам ухода интенсивность изреживания указана в процентах по массе от общего запаса. При проведении рубок ухода одно и то же количество древесины может быть вырублено за счет крупных деревьев (верховой метод) или большего количества мелких стволов (низовой метод). При различных комбинациях этих методов необходимы данные о распределении числа стволов по естественным ступеням толщины, которые помогут установить особенности формирования молодняков и определить товарную структуру насаждений.

Для изучения распределения деревьев по толщине в молодняках сосны нами использована методика проф. А. В. Тюрина [2], по которой абсолютные ступени толщины заменены естественными. Обработка данных пробных площадей, заложенных в Андреевском леспромхозе Владимирской области и Солотчинском лесхозе Рязанской области, показала, что максимальная величина расхождения частот наблюдается в ступени 0,5—2,6%; в ступенях 0,4, 0,8 и 1,0 различия находятся в пределах 1,2—1,5%; в остальных ступенях толщины не превышают  $\pm 1,0\%$  (рис. 1). Рассчитанные значения критерия Пирсона  $\chi^2$  указывают на отсутствие реального различия между сравниваемыми рядами. Полученная достоверность  $t \leq t_{05}$  не отвергает нулевую гипотезу, а это значит, что ряды принадлежат к одной совокупности.

Объединение двух эмпирических совокупностей привело к увеличению объема выборки и тем самым к сужению доверительного интервала для параметров ряда распределения. Характеристика полученного нами ряда распределения была дана по основным статистическим показателям. При установлении средних величин, коэффициентов вариации и показателей точности были вычислены также и их ошибки, позволяющие установить достоверность полученных данных ряда распределения (табл. 1, по материалам 47 пробных площадей, заложенных в 15—47-летних насаждениях I—II классов бонитета).

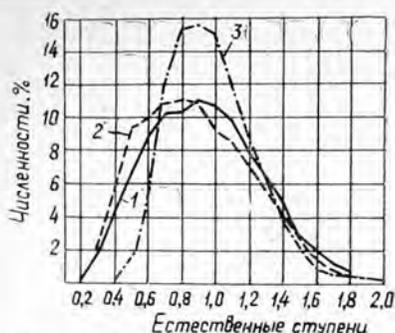


Рис. 1. Распределение числа стволов по естественным ступеням толщины.

1 — во Владимирской области; 2 — в Рязанской области; 3 — по А. В. Тюрину.

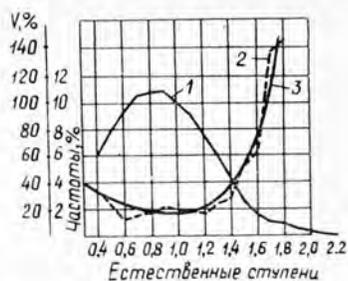


Рис. 2. Коэффициенты варьирования по естественным ступеням толщины.

1 — кривая частот по ступеням толщины; 2 — коэффициенты варьирования по эмпирическим данным; 3 — коэффициенты варьирования по уравнению (1)

Достоверность полученных данных ряда распределения численностей в процентах, коэффициентов вариации и показателей точности во всех случаях больше 3. Распределение в молодняках имеет правую асимметрию, в то время как по данным А. В. Тюрина оно близко к нормальному.

Из табл. 1 и рис. 2 видно, что наибольшая заселенность наблюдается в ступенях толщины 0,6—0,9 и не превышает 11%; в рядах распределения по А. В. Тюрину — 15,7%.

Коэффициенты вариации частот в центральных ступенях толщины от 0,5 до 1,3, охватывающих 82,2% всех частот, не превышают 25%. Более высокие ступени толщины (1,8—2,0 и более), ввиду малой представленности крупных деревьев, имеют максимальные величины коэффициентов вариации — до 150%. Кривая коэффициентов вариации  $V$  заселенности в естественных ступенях толщины  $X$  может быть охарактеризована параболой третьего порядка. Уравнение этой параболы имеет вид

$$V = 75,35 - 100,44X + 0,55X^2 + 42,87X^3. \quad (1)$$

Параметры уравнения (1) установлены по способу наименьших квадратов. Достоверность различия между эмпирическими частотами  $n_i$  и теоретическими  $\hat{n}_i$  устанавливали с помощью показателя Пирсона  $\chi^2$

$$\chi^2 = \sum \frac{n_i - \hat{n}_i}{\hat{n}_i}. \quad (2)$$

Величина  $\chi^2$ , полученная по уравнению (2), была меньше критических величин при вероятности 0,95 и 11 степенях свободы, что не отвергает нулевой гипотезы.

Значения, установленные по формуле (1) для естественных ступеней толщины 1,3—1,7, несколько больше фактических. Увеличение степени полинома для повышения точности нецелесообразно, так как крайние естественные ступени толщины правой части кривой мало заселены.

В молодых насаждениях число стволов по ступеням толщины в левой части кривой распределения (рис. 2) больше, чем в правой; вели-

Таблица 1

Показатели	Статистики распределения, %, по естественным ступеням толщины																
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$M_{ср}$ $m_M$	6,2 0,48	7,9 0,39	9,4 0,24	10,5 0,34	10,8 0,39	10,9 0,49	10,0 0,42	9,2 0,36	7,5 0,26	6,0 0,32	4,3 0,25	2,7 0,28	1,8 0,23	1,0 0,32	0,9 0,36	0,5 —	0,4 —
$\sigma$ $m_\sigma$	2,16 0,37	1,93 0,28	1,19 0,17	1,67 0,24	1,86 0,27	2,40 0,35	2,04 0,30	1,73 0,26	1,25 0,18	1,48 0,22	1,22 0,18	1,38 0,20	1,10 0,16	1,38 0,21	1,32 0,26	— —	— —
$V$ $m_V$	31,6 5,80	24,4 3,50	12,7 1,80	15,8 2,35	17,2 2,50	22,0 3,20	20,5 2,95	18,8 2,76	16,7 2,41	24,7 3,56	28,4 4,10	52,0 7,50	63,0 9,30	138,0 20,9	146,0 28,8	— —	— —
$P$ $m_P$	7,8 1,70	5,0 0,92	2,6 0,53	3,3 0,48	3,5 0,50	4,5 0,65	4,2 0,61	3,9 0,56	3,4 0,49	5,1 0,73	5,8 0,84	10,6 1,53	13,1 1,90	29,4 4,45	40,0 7,90	— —	— —

Таблица 2

Группы возраста, лет	Число пробных площа- дей, шт.	Распределение деревьев, %, по естественным ступеням толщины																			
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
15—23	4	—	6,5	7,3	8,6	9,2	9,4	9,3	8,9	8,1	7,4	6,6	5,5	4,1	2,9	2,2	1,6	1,0	0,7	0,4	0,3
24—30	5	0,4	1,0	6,5	9,6	9,1	9,0	9,2	10,5	10,9	9,7	7,7	6,0	4,1	2,6	1,7	1,0	0,6	0,3	0,1	—
31—37	6	—	2,7	9,2	9,7	10,2	10,7	10,5	9,7	8,0	7,0	6,3	5,4	4,2	2,9	1,5	1,0	0,6	0,3	0,1	—
38—44	7	—	0,3	3,6	8,1	10,1	11,8	12,3	12,1	10,4	9,7	7,1	5,1	4,1	2,2	1,5	0,9	0,5	0,1	0,1	—
45—47	6	—	0,8	3,3	5,5	8,3	10,5	10,6	11,6	11,0	10,6	9,2	7,8	5,5	2,8	1,6	0,8	0,1	—	—	—
Распределение по А. В. Тюрину	—	—	0,2	1,5	5,6	12,2	15,4	15,7	15,0	11,7	8,7	6,1	3,9	2,1	1,0	0,5	0,3	0,1	0,1	—	—

чины коэффициентов варьирования в левой части меньше, то есть чем больше заселенность ступени толщины, тем меньше коэффициент варьирования. Чем больше коэффициент варьирования числа стволов в ступени толщины, тем больше изменчивость и в объемах стволов.

Полученные коэффициенты варьирования  $V$  по естественным ступеням толщины могут быть использованы при расчете числа моделей  $N$  для определения запаса по ступеням толщины с заранее установленной точностью  $P$ . Используем известную в математической статистике формулу

$$N = \frac{V^2 t^2}{P^2}, \quad (3)$$

где  $t$  — показатель достоверности.

В формуле (3) рассматривается показатель варьирования по толщине всего насаждения, без учета данных изменчивости количества стволов по ступеням толщины. Применяя формулу (3) и коэффициенты варьирования каждой ступени толщины (табл. 1), мы устанавливаем число моделей, необходимое для определения запаса с одинаковой степенью точности.

Для практических целей помимо установления запаса на 1 га в молодых насаждениях различных возрастов нужно знать распределение запаса по ступеням толщины и ясно представлять, как изменяется количество деревьев в естественных ступенях толщины с увеличением возраста. С возрастом происходит концентрация числа стволов в центральных ступенях толщины (табл. 2), что вызвано в основном отмиранием отставших в росте деревьев, имеющих наименьшие размеры, и перегруппировкой средних деревьев. Естественный отпад по числу стволов с увеличением возраста снижается, однако продолжается до момента полного распада насаждений.

Сравнение данных рядов распределения наших и А. В. Тюрина показывает, что независимо от возраста частоты вправо от естественной ступени толщины 1,3 почти одинаковы (табл. 2). В левой части кривой до ступени 1,3 с увеличением возраста насаждения частоты уменьшаются в наименьших ступенях (0,3—0,6) и увеличиваются в ступенях 0,8—1,2.

Составленные ряды распределения по естественным ступеням толщины позволяют более точно устанавливать величину прироста в молодняках, проводить исследования в различных направлениях с целью выбора оптимального варианта при выращивании насаждений с заранее обусловленными требованиями, при формировании высокопроизводительных сосновых насаждений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. М. М. Орлов. Лесная таксация. Журн. «Лесное хозяйство и лесная промышленность». Л., 1929. [2]. А. В. Тюрин. Лесная таксация. Гослестехиздат, М., 1938.

Поступила 12 июня 1974 г.

УДК 634.0.901

**К ХАРАКТЕРИСТИКЕ ЛЕСОВ ЛИСТВЕННОЙ СИБИРСКОЙ  
ТУВИНСКОЙ АССР**

(на примере Шагонарского лесхоза)

В. С. ПОЛЯКОВ

Брянский технологический институт

Предлагается подробное ботанико-лесоводственно-таксационное описание лесов лиственной сибирской Шагонарского лесхоза Тувы. В зависимости от производительности насаждений обоснованы возрасты технической спелости.

Шагонарский лесхоз расположен в центральной части Тувы. Лесами заняты его южная и северная части, соответственно хребет Танну-Ола и отроги Западных Саян. Их распространение носит характер вертикальной зональности и зависит от экспозиции склонов. У подножия и на нижней части хребта Танну-Ола на северных склонах произрастают преимущественно березовые насаждения с примесью лиственной. По мере поднятия в горы доля лиственной в составе увеличивается, и с 1200 м над уровнем моря преобладают лиственные насаждения. С высоты 1600 м среди лиственного леса появляются куртины кедра, который с 1800 м заменяет лиственную. Выше 2000—2100 м начинаются альпийские луга, а еще выше тундра и голцы. Южные склоны гор в основном безлесные, представляют собой площади, заросшие кустарником и травянистой растительностью (только на более пологих склонах произрастают лиственные леса).

В Шагонарском лесхозе преобладает лиственная сибирская, древостой которой занимают около 70% покрытой лесом площади.

Климат района резко континентальный. Зимой морозы достигают  $-54^{\circ}\text{C}$ , летом температура воздуха поднимается до  $+37^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая температура воздуха равна  $-4,4^{\circ}\text{C}$ . Характерная особенность климата — сильно выраженная зимняя температурная инверсия (в горах температура воздуха зимой на 15—20 $^{\circ}\text{C}$  выше, чем в нижележащих котловинах). Количество осадков за год редко превышает 350 мм, более 60% их приходится на летнее время.

Для объекта исследований характерно разнообразие почвенного покрова, обусловленное рельефом местности. Почвы лесной зоны главным образом оподзоленные суглинистые разной мощности, что связано с высотой над уровнем моря и крутизной склонов. Подзолистые почвы склонов северной экспозиции, подстилающие заболоченную тайгу, избыточно увлажнены, тогда как почвы склонов южной экспозиции в основном сухие.

Лиственные леса относятся к двум природным комплексам лесов — долинному и горному [1—5]. Основными типами лиственных являются долинный разнотравно-злаковый, горный брусничный, горный багульниковый и предгольцовый ерниковый. Таксационная характеристика и особенности хода роста древостоев лиственной сибирской этих типов леса отражены в табл. 1.

Преобладают по площади и имеют наибольшее хозяйственное значение лиственные долинные разнотравно-злаковый и горный

брусничный, занимающие лучшие по производительности почвы на пониженных и средних частях склонов гор и в предгорьях.

Лиственничник долинный разнотравно-злаковый обычно занимает речные террасы, пологие склоны и близкие к ним местообитания. Преобладают условно разновозрастные древостои. Бонитируются они II—III, реже I классами. Древостои обычно чистые или с небольшой примесью березы (до 1 единицы), полнота колеблется в пределах 0,5—0,7. В возрасте 150—170 лет запасы до 250—310 м<sup>3</sup> на 1 га. Выход деловой древесины в возрасте 100—150 лет древостоев достаточно высок — 68—70%.

Подрост редкий — до 600—800 экземпляров на 1 га лиственницы, сосны, березы. На долю хвойных пород приходится до 80% от общего количества. Отмечается его куртинное размещение по площади. Подрост часто неудовлетворительного состояния, что связано со значительной мощностью травяного покрова.

Редкий (сомкнутостью 0,1—0,3) подлесок образуют шиповник иглистый, спирея средняя, рябина сибирская, черемуха. Средняя высота его 1,2—1,5 м.

Травяной покров развит хорошо, занимает до 90% площади, характеризуется разнообразием видов. В нем преобладают вейники Лангсдорфа и туповатый, хвощ луговой, овсяница ложноовечья, мятлик луговой, какалия копьевидная.

Обладая значительными запасами деловой древесины высокого качества, располагаясь вблизи от транспортных путей и сельскохозяйственных угодий, лиственничные древостои долинного разнотравно-злакового типа леса имеют большое народнохозяйственное значение.

Лиственничник горный брусничный распространен по средним частям склонов разных экспозиций (кроме южной) и крутизны, повышенным пологим местам на горнотаежных дерново-подзолистых, свежих почвах. Преобладают условно одновозрастные и условно разновозрастные древостои. Они в большинстве случаев чистые с небольшой примесью березы, осины, кедра, простые по сложенности. Производительность — IV—III классы бонитета. Полнота неравномерная, колеблется в пределах 0,6—0,9. Общий запас древесины на 1 га в возрасте 100—150 лет довольно высок — 180—230 м<sup>3</sup>. Деревья лиственницы имеют малый сбег и хорошо очищены от сучьев.

Подрост удовлетворительного состояния представлен в основном лиственницей (60—80% общего количества), кедром, березой до 10 тыс. экземпляров на 1 га. Местами он куртинного характера.

В редком (сомкнутость 0,2—0,3) подлеске встречаются спирея средняя, жимолость алтайская, шиповник иглистый, ива сухолюбивая.

В травяном покрове с покрытием до 60—70% по площади фон создают брусника, мятлик сибирский, линнея северная, грушанка круглолистная. Мохово-лишайниковый покров главным образом состоит из зеленых мхов и кустистых кладоний. Лишайники размещаются на микроповышениях — близ оснований стволов.

Лиственничники горные брусничные имеют хозяйственное значение (наличие больших запасов высококачественной деловой древесины, близость к транспортным путям района).

Изучение особенностей динамики товарной структуры (табл. 1) позволило выявить возрасты спелости лиственничников разной производительности (табл. 2).

Эти данные могут быть приняты в качестве придержек при обосновании возрастов главной рубки в лиственничных лесах эксплуатационного назначения.

Таблица 2

Категория древесины	Возраст технической спелости по классам бонитета				
	II	III	IV	V	Va
Крупная (25,0 см и более)	150	160	180	190	205
Крупная и средняя (13,0 см и более)	90	105	115	145	150
Средняя (12,9—24,9 см)	80	95	110	125	145

Нам представляется, что проведенные исследования дополняют и уточняют характеристику лиственничников Тувы, позволят более обоснованно подойти к осуществлению ряда хозяйственных мероприятий.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. И. Ю. Коропачинский. Материалы к изучению типов кедрово-лиственничных лесов Восточного Танну-Ола. Труды СибТИ, сб. XXII, Красноярск, 1959. [2]. И. Ю. Коропачинский, В. С. Онучин. Лиственничные леса Тувинской автономной области. В кн.: «Лиственница и ее использование в народном хозяйстве СССР», Гослесбумиздат, М.—Л., 1961. [3]. В. С. Онучин. Лиственничные леса части бассейна среднего течения реки Каа-Хем. СибТИ, сб. XXII, Красноярск, 1962. [4]. В. Н. Смагин, Н. А. Софронов, С. А. Ильинская. К характеристике лесов и лесного хозяйства Тувы. Труды Тувинской комплексной экспедиции, вып. III, 1957. [5]. Б. Н. Тихомиров, И. Ю. Коропачинский, Э. Н. Фалалеев. Лиственничные леса Сибири и Дальнего Востока. Гослесбумиздат, М.—Л., 1961.

Поступила 15 августа 1974 г.

УДК 634.0.5

## ДИНАМИКА ТОВАРНОСТИ КАРПАТСКИХ ЕЛЬНИКОВ, ВОЗРАСТЫ ИХ СПЕЛОСТЕЙ И ГЛАВНЫХ РУБОК\*

Е. И. ЦУРИК

Украинская сельскохозяйственная академия

На основе изучения сортиментной структуры условно одно-возрастных еловых насаждений и ранее составленных для них опытных таблиц хода роста, учитывающих высотную-экологическую поясность лесорастительных условий Украинских Карпат, приведены таблицы динамики товарности для пяти классов бонитета. Рассчитаны возрасты количественной, технической и хозяйственной спелостей и обоснованы оптимальные возрасты рубок карпатских ельников.

При решении организационно-технических вопросов, связанных с ведением лесного хозяйства и планированием лесозаготовки, используются данные о динамике товарности древостоев. Эти данные, в частности, являются исходными для определения возрастов технической спелости и установления оптимальных возрастов главных рубок. Изучение этих вопросов для карпатских ельников весьма актуально.

В Украинских Карпатах ход роста еловых насаждений неодинаков [11], вследствие вертикальной поясности климата, почвы и самой растительности [1]. Естественно, что эти различия определенным образом отражаются на показателях формы и полндревесности стволов, сортиментной и товарной структуре древостоев [6]. Однако в местных таб-

\* Работа выполнена под руководством проф., доктора сельскохозяйственных наук К. Е. Никитина.

лицах динамики товарности [3], [7], [10] экологические особенности роста карпатских ельников не нашли достаточного отражения.

Для составления таблиц динамики товарности, учитывающих влияние высотно-экологических факторов, использован тот же экспериментальный материал, что и при изучении хода роста условно одновозрастных карпатских ельников [11]. Фактическая сортиментация запаса насаждений на пробных площадях и дальнейшая статистическая обработка полученных данных выполнены с применением ЭЦВМ «Минск-32».

### Динамика товарности древостоев

Анализ данных о фактическом выходе ликвидной и деловой древесины показал, что в пределах высотно-экологических поясов сортиментная структура запаса еловых древостоев в основном зависит от их среднего диаметра и достаточно надежно передается уравнениями

$$P_{\text{лкв}}^{\text{н}} = 92,2 - 1,8D^{-3}; \quad P_{\text{лкв}}^{\text{н}} = 91,4 - 1,4D^{-3}; \quad P_{\text{дл}}^{\text{н}} = 91 - 22D^{-2,32}; \\ P_{\text{дл}}^{\text{н}} = 89 - 21D^{-1,95}; \quad P_{\text{кр}} = -13,2 + 5,75D^{1,95}; \quad P_{\text{мк}} = \\ = -30,5 + 121D^{-0,94},$$

где  $P$  — процент выхода древесины: лкв — ликвидной, дл — деловой, кр — крупной, мк — мелкой;

$D$  — средний диаметр древостоя,  $дм$ ;

н — нижнегорный пояс;

в — верхнегорный пояс.

Проценты выхода дров  $P_{\text{др}}$ , отходов  $P_{\text{отх}}$  и средней деловой древесины  $P_{\text{ср}}$  определены из соотношений

$$P_{\text{др}} = P_{\text{лкв}} - P_{\text{дл}}; \quad P_{\text{отх}} = 100 - P_{\text{лкв}}; \quad P_{\text{ср}} = 100 - (P_{\text{кр}} + P_{\text{мк}}).$$

По приведенным формулам и данным об изменении средних диаметров и запасов карпатских ельников с возрастом, установленным при изучении их хода роста [11], составлены таблицы динамики товарности (табл. 1).

Рассматривая результаты вычислений, следует отметить, что выход деловой древесины в изучаемых древостоях очень высок. При среднем диаметре древостоев  $12 \text{ см}$  он составляет 75—77% запаса стволовой древесины, а при средних диаметрах больше 30 см увеличивается до 87—90% (включая «технологическое сырье»). При тех же условиях процент дров уменьшается с 14—16 до 2—3%, а отходов — с 9—10 до 8—9%.

Сортиментная структура запаса карпатских ельников различается в зависимости от высотно-экологической поясности. При равных средних диаметрах насаждений выход деловой древесины в нижнегорных районах больше (а дров меньше), чем в высокогорных, в среднем на 2%. Разница эта хотя и незначительна, но имеет систематический характер.

Зависимости процента выхода деловой древесины по категориям крупности от высотно-экологических различий установить не удалось, поэтому при равных средних диаметрах нижнегорных и верхнегорных ельников структура деловой части запаса принята одинаковой. Однако при равных возрастах, в силу различий хода роста насаждений разных классов бонитета, сортиментная структура еловых древостоев нижнегорного и верхнегорного поясов неодинакова (табл. 2).

По нашим данным, выход деловой древесины в еловых молодняках нижнегорного пояса на 3—4%, а в древостоях верхнегорного пояса на

Таблица 1

Возраст, лет	Средние		Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup>	В том числе, м <sup>3</sup>					дрова	отходы
	высота, м	диаметр, см		деловая древесина						
				крупная	средняя	мелкая	итого			

## Нижнегорный пояс (до 1150—1200 м н.у.м.)

IV класс бонитета (от 800 до 1100 м н.у.м.), D<sub>3</sub> — влажная карпатская  
буково-пихтовая рамень

30	13,9	12,3	229	—	57	120	177	32	20
40	19,5	17,7	411	15	199	136	350	28	33
50	24,2	22,4	587	75	312	127	514	26	47
60	28,1	26,5	741	167	382	108	657	25	59
70	31,3	30,1	868	280	410	85	775	25	68
80	33,8	33,3	967	404	399	63	866	25	76
90	35,8	36,2	1042	540	357	39	936	25	81
100	37,3	38,8	1098	669	299	19	987	24	87
110	38,4	41,2	1138	794	230	1	1025	24	89
120	39,1	43,4	1160	913	133	—	1046	23	91

Ia класс бонитета (от 850 до 1150 м н.у.м.), C<sub>3</sub>(D<sub>3</sub>) — влажная карпатская  
буково-пихтовая сурамень (рамень)

30	11,8	10,7	171	—	22	100	122	33	16
40	16,7	15,7	315	2	136	124	262	27	26
50	20,9	20,0	461	36	238	125	399	25	37
60	24,5	23,8	599	95	318	115	528	24	47
70	27,5	27,2	717	173	366	97	636	24	57
80	29,9	30,2	812	264	382	79	725	23	64
90	31,7	32,9	885	361	371	61	793	22	70
100	33,1	35,4	940	461	342	42	845	22	73
110	34,1	37,7	978	558	297	25	880	22	76
120	34,7	39,8	998	645	242	11	898	22	78

I класс бонитета (от 900 до 1200 м н.у.м.), C<sub>3</sub>(C<sub>3</sub>) — влажная (свежая)  
карпатская пихтовая сурамень

40	13,9	13,7	229	—	76	108	184	25	20
50	17,7	17,7	347	13	168	114	295	24	28
60	21,0	21,2	464	47	246	112	405	22	37
70	23,8	24,4	572	103	298	103	504	22	46
80	26,1	27,2	663	160	339	90	589	22	52
90	27,9	29,7	734	229	351	75	655	21	58
100	29,3	32,0	787	298	345	61	704	21	62
110	30,2	34,1	823	367	325	46	738	21	64
120	30,7	36,1	843	434	291	32	757	20	66

## Верхнегорный пояс (выше 1150—1200 м н.у.м.)

II класс бонитета (от 1150 до 1300 м н.у.м.), C<sub>3</sub>(C<sub>3</sub>) — влажная (свежая)  
карпатская чистая сурамень

40	11,2	11,8	158	—	33	85	118	25	15
50	14,6	15,5	242	1	100	95	196	25	21
60	17,7	18,8	327	18	160	96	274	24	29
70	20,4	21,8	405	45	210	90	345	24	36
80	22,7	24,5	471	80	244	82	406	24	41
90	24,6	26,9	524	120	262	72	454	24	46
100	25,9	29,1	563	162	268	61	491	23	49
110	26,8	31,1	590	204	262	50	516	23	51
120	27,4	33,0	606	243	248	41	532	22	52

III класс бонитета (от 1250 до 1400 м н.у.м.), B<sub>3</sub>(B<sub>2</sub>) — влажная (свежая)  
карпатская еловая суборь

50	11,5	12,8	165	—	46	81	127	23	15
60	14,3	15,8	235	2	100	89	191	23	21
70	16,9	18,6	304	15	149	90	254	23	27
80	19,1	21,1	366	35	189	87	311	23	32
90	20,8	23,4	415	60	215	81	356	23	36
100	22,0	25,5	451	88	231	71	390	22	39
110	22,8	27,4	475	115	236	62	413	21	41
120	23,3	29,2	488	142	232	52	426	20	42

Класс бонитета	Выход, % от всей деловой								
	в 50 лет			в 80 лет			в 120 лет		
	крупной	средней	мелкой	крупной	средней	мелкой	крупной	средней	мелкой
Нижнегорный пояс									
Iв	14,6	60,6	24,8	46,7	46,0	7,3	87,3	12,7	—
Ia	9,0	59,6	31,4	36,5	52,6	10,9	71,8	27,0	1,2
I	4,4	56,9	38,7	27,2	57,5	15,3	57,3	38,4	4,3
Верхнегорный пояс									
II	0,4	51,3	48,3	19,8	60,0	20,2	45,7	46,6	7,7
III	—	36,1	63,9	11,3	60,8	27,9	33,3	54,5	12,2

9—10% меньше, чем по таблицам Ф. П. Моисеенко [4] для БССР, Г. А. Ходота [10] и Д. П. Логутова [3] для Карпат. В древостоях старшего возраста расхождения не превышают 2—3%.

В распределении деловой древесины по категориям крупности различия между сравниваемыми таблицами более значительны. Различия в выходе крупных деловых сортиментов в насаждениях до 80 лет больше в 1,5—2 раза, однако к 120-летнему возрасту они практически сглаживаются.

Такой характер распределения запаса стволовой древесины и деловых сортиментов по категориям крупности обусловлен различиями в ходе роста карпатских ельников по классам бонитета. Особенно четко он проявляется при сравнении данных о выходе в абсолютных величинах.

#### *Возрасты спелостей и оптимальные возрасты рубок*

Среди полезностей, которыми обладает лес как объект лесохозяйственного производства, главной является древесина. Поэтому большое значение имеет определение возрастов спелостей насаждений, при которых возможно максимальное получение нужных сортиментов.

Направление ведения хозяйства в эксплуатационных лесах определяется в основном возрастом количественной и технической спелости, в котором средний прирост всей древесины или деловой ее части, установленных размеров и качества достигает максимума, а текущий прирост становится равным среднему. Это состояние древостоя наступает в возрасте, когда первая производная от функции изменения среднего прироста равняется нулю.

По исследованию К. Е. Никитина [5], кривая изменения среднего прироста древостоя по запасу  $y$  с возрастом  $x$  достаточно надежно аппроксимируется показательным уравнением вида

$$y = a_0 x^{a_1} e^{a_2 x},$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  — параметры уравнения;  
 $e$  — Неперово число.

Результаты определения возрастов спелостей ельников с применением ЭЦВМ по алгоритму и методике К. Е. Никитина [5] приведены в табл. 3.

Количественная спелость в изучаемых насаждениях с падением бонитета на один класс увеличивается в среднем на 5 лет. При этом по

Таблица 3

Показатели	Возрасты спелостей и рубок по классам бонитета				
	Iв	Iа	I	II	III
Спелости:					
количественная					
по наличному запасу	67	73	79	82	88
по общей продуктивности	74	79	85	88	95
техническая					
по всей деловой	66	74	80	82	89
по крупной и средней	82	88	95	99	106
хозяйственная					
по наличному запасу	76	82	87	90	96
по общей продуктивности	88	92	97	101	107
Возрасты главных рубок:					
по генеральному плану	61—70		81—100	101—120	
рекомендуемые	81—100		101—120	101—120	

наличному запасу она наступает на 6—7 лет раньше, чем по общей продуктивности. Возрасты количественной спелости изучаемых насаждений практически одинаковы с установленными по таблицам А. В. Тюрина [9], Е. Герхардта [12] и Д. П. Логутова [3], но выше вычисленных по данным Г. А. Ходота [10] от 10 (III класс бонитета) до 24 (Iв класс бонитета) лет.

Техническая спелость, рассчитанная по выходу крупной и средней деловой древесины, наступает в среднем на 15 лет позже количественной по наличному запасу, а установленная по всей деловой, включая и мелкую, — для всех классов бонитета равна количественной.

Заметное влияние на возраст технической спелости оказывает высота местопроизрастания ельников над уровнем моря. В насаждениях Iв, Iа и I классов бонитета нижнегорного пояса этот возраст на 10—15 лет меньше, чем в древостоях II и III классов бонитета верхнегорного пояса.

Между возрастными технической спелости, вычисленными по материалам исследования и по данным Г. А. Ходота и Д. П. Логутова, есть расхождение, особенно для ельников высших классов бонитета (более 10 лет).

Количественная и техническая спелости — натуральные показатели. При установлении оптимальных возрастов главных рубок они позволяют максимизировать лишь общий объем пользования древесиной без учета ее стоимости. Для получения стоимостной оценки дополнительно определяли возрасты хозяйственной спелости, характеризующиеся временем достижения древостоем максимального среднего прироста таковой стоимости обезличенной древесины. Нетрудно видеть (табл. 3), что хозяйственная спелость очень близка к технической по крупной и средней деловой древесине, в связи с чем эти виды спелостей явились исходными при установлении оптимальных возрастов главных рубок карпатских ельников.

В результате проведенных исследований, в границах естественного ареала ели в Карпатах [2] рекомендуются следующие возрасты главных рубок, рассчитанные на максимальное получение крупных и средних деловых сортиментов: в ельниках нижнегорного пояса Iв—Iа классов бонитета, произрастающих в  $D_2$ — $D_3$  ( $C_3$ ) на высотах 800—1150 м над уровнем моря — 81—100 лет; в ельниках нижнегорного пояса I класса бонитета, произрастающих в  $C_2$ — $C_3$  на высотах 900—

1200 м над уровнем моря — 101—120 лет; в ельниках верхнегорного пояса II—III классов бонитета, произрастающих в  $C_2$ — $C_3$  ( $B_2$ — $B_3$ ) на высотах выше 1150—1200 м над уровнем моря — 101—120 лет.

По сравнению с установленными в 1956 г. генеральным планом развития лесного хозяйства УССР [8], возрасты рубок в карпатских ельниках целесообразно повысить в условиях нижнегорного пояса (IV, Ia и I классы бонитета) на один 20-летний класс возраста.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. С. А. Генсирук. Комплексное лесное хозяйство в горных условиях. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1971. [2]. М. А. Голубець. Темнохвойні ліси. В кн.: «Рослинистія УРСР», изд-во «Наукова думка», Киев, 1971. [3]. Д. П. Логотов. Ход роста ельников Карпат. Журн. «Лесное хозяйство» № 5, 1958. [4]. Ф. П. Моисеенко. Ход роста и товарности полных еловых насаждений БССР. В кн.: «Ботаника», вып. V, изд. АН БССР. [5]. К. Е. Никитин. Применение ЭВМ в лесной таксации. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1972. [6]. К. Е. Никитин, А. З. Швиденко. Таксация лесосек на ЭВМ. Изд-во «Урожай», Киев, 1972. [7]. О. І. Пітікін. Товарність ялиників різної густоти. В кн.: «Підвищення продуктивності гірських лісів». Изд-во «Карпати». Ужгород, 1968. [8]. Справочник лесовода (под ред. А. Г. Солдатова). Изд-во «Сельхозлит УССР», Киев, 1959. [9]. А. В. Тюрин. Нормальная производительность насаждений сосны, березы, осины и ели. Сельхозгиз, М.—Л., 1931. [10]. Г. А. Ходот. Исследование хода роста карпатских ельников. Автореферат кандидатской диссертации, Киев, 1959. [11]. Е. И. Цурик. Ход роста и продуктивность условно разновозрастных еловых насаждений в Украинских Карпатах. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 4, 1973. [12]. E. Gerhardt. Eine neue Fichten-Ertragstafel. Allg. F. U. ; Z, 11.

Поступила 8 апреля 1974 г.

УДК 634.0.16

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФИТОМАССЫ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛУГОВИКОВОЙ ВЫРУБКИ

Л. Е. АСТРОЛОГОВА

Архангельский лесотехнический институт

Показана динамика фитомассы луговиковой вырубки в течение летнего периода 1973 г. За вегетационный период масса растений напочвенного покрова возросла с 10,3 ц/га 30 мая до 25,1 ц/га 20 июля. Наибольшая доля живой зеленой массы образуется к началу июля (19,75 ц/га), а опада — в конце вегетационного периода (15,05 ц/га).

Хозяйственная и биологическая продуктивность ценозов во многом зависит от закономерностей нарастания фитомассы. Прирост органического вещества складывается из индивидуальных запасов биомассы продуцирующих видов растений. Для изучения их продуктивности необходимо знать биолого-морфологические свойства и закономерности формирования растительной массы в процессе онтогенеза. Максимальное нарастание массы отдельных видов, слагающих фитоценоз, часто не совпадает во времени, что создает необходимость изучения сезонной динамики растительной биомассы [1].

Наблюдения за динамикой накопления растительной массы в течение вегетационного периода проводили в Обозерском лесхозе Архангельской области на луговиковой вырубке из-под свежего сосняка черничного, сформировавшейся после рубки 1970 г. В напочвенном покрове доминирует *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. (покрытие 0,6), из других видов наиболее часто встречается *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Luzula pilosa* (L.) Willd., из разнотравья *Solidago virga aurea* L.,

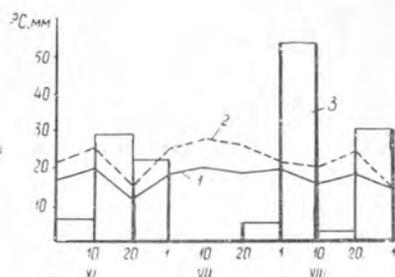


Рис. 1. Температура и осадки в летний период 1973 г. на луговиковой вырубке.

1 — температура воздуха; 2 — температура воздуха у поверхности почвы; 3 — осадки.

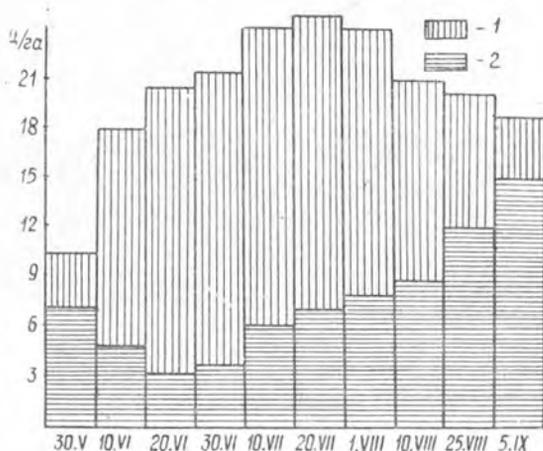


Рис. 2. Соотношение живой массы и опада в фитомассе напочвенного покрова луговиковой вырубке.

1 — живая часть; 2 — опад.

*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. Материал собирали через каждые 10 дней методом «парных площадок». Укосные «площадки» ( $0,25 \text{ м}^2$ ) в количестве 40 шт. закладывали по диагонали постоянного объекта. Собранную надземную фитомассу разделяли на живую часть (зеленую) и опад, высушивали до абс. сухого веса (АСВ) при  $105^\circ\text{C}$ . Полученные данные достоверны (коэффициент вариации  $C = 18\text{—}25\%$ , точность до  $10\%$ ) — [3].

Сезонная динамика накопления фитомассы на вырубке зависит от фенологического состояния видов, слагающих напочвенный покров. В 1973 г. конец мая характеризовался благоприятными погодными условиями, обеспечившими начало активной вегетации основных видов растений (рис. 1). Поэтому в начале лета наблюдается накопление зеленой массы напочвенным покровом ценоза (рис. 2). У луговика извилистого нарастают озимые побеги, а из перезимовавших почек появляются боковые весенне-летние побеги, увеличивающие узел кущения злака. У вейника наземного начинают развиваться летние зеленые по-

Вид растения	Фенологическое состояние					
	Май		Июнь			
	20	30	1	10	20	30
Луговик извилистый	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вых. в тр.	Цв. 1	Цв. 2
Ожика волосистая	Цв. 2	Пл. 1	Пл. 2	Пл. 2	Пл. 3	Вер. 2
Вейник наземный	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вых. в тр.	Бут.
Золотарник	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Формиров.	цв. стеб.	Бут.
Иван-чай	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Бут.	Цв. 1
Осот разнолиственный	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Бут.
Дудник	—	—	1 лист	Вер. 1	Вер. 1	Формиров.
Черника	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1
Брусника	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1

беги. Вегетируют иван-чай и золотарник. Но большая часть перезимовавших побегов отмирает, поэтому в конце мая доля опада в общей надземной фитомассе составила 63%. Развивают мощную зеленую массу луговик, вейник, разнотравье. У луговика идет интенсивное кущение. Весенне-летние побеги его переходят в генеративные, и появляются новые цветonoсные стебли. К концу июня луговик извилистый зацветает (табл. 1), у иван-чая раскрываются первые цветки. В это время растения вырубki интенсивно растут и образуют значительные запасы фитомассы, причем 87% ее составляет живая зеленая часть (рис. 2). В июне у большинства видов напочвенного покрова заканчивается рост и начинается массовое цветение и образование плодов. В конце июля заканчивается формирование плодов и распространение семян у луговика, что сопровождается постепенным отмиранием генеративных побегов и части листьев, увеличивающих опад. В то же время в зоне кущения начинают развиваться вегетативные озимые побеги, способствующие возрастанию зеленой массы растений. Формируются прикорневые зеленые листья ожики; заканчивается прирост ягодных кустарников; образуются плоды вейника. Разнотравье цветет и плодоносит, однако этот процесс сопровождается постепенным отмиранием листьев. Июль — период накопления максимальных запасов надземной фитомассы растениями вырубki (табл. 1). В августе заканчивается образование плодов и семян и их распространение, что ведет к постепенному уменьшению общей фитомассы и прежде всего количества зеленой массы растений (табл. 1). Опад в августе возрастает до 76% от общей надземной массы напочвенного покрова вырубki, что связано с отмиранием генеративных побегов луговика, вейника и листьев разнотравья.

Общие запасы надземной фитомассы на вырубке в течение вегетационного сезона непостоянны. Сезонные колебания в запасах растительной массы, по нашим данным, сходны с данными других авторов [2]. Максимум нарастания массы напочвенного покрова приходится на конец июня, когда ее запасы увеличиваются на 50%, причем в июне наблюдается минимальный опад (3,3 ц/га) и наибольший процент живой растительной массы (рис. 2). Максимальные запасы биомассы напочвенного покрова отмечаются в июле, когда образуются озимые побеги; заканчивается рост летних побегов и постепенно увеличивается опад за счет частичного отмирания вегетативной массы растений. Запасы фитомассы в конце вегетационного сезона снижаются вследствие распространения семян плодов и постепенного перехода части опада в мертвое вещество подстилки (рис. 2).

Таблица 1

растений				Август				Сентябрь
Июль								
1	10	20	30	1	10	20	30	1
Цв. 2	Цв. 3	Пл. 2	Пл. 3	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2
Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2
Цв. 1	Цв. 2	Цв. 3	Цв. 3	Пл. 2	Пл. 3	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2
Цв. 1	Цв. 2	Цв. 3	Цв./пл. 1	Цв./пл. 2	Цв./пл. 3	Пл. 3	Пл. 3	Вер. 2
Цв. 2	Цв. 2	Цв. 3	Пл. 1	Пл. 2	Пл. 3	Пл. 3	Вер. 2	Вер. 2
Бут.	Цв. 2	Цв. 3	Пл. 2	Пл. 3	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2
цв.стебля	Бут.	Цв. 2	Цв. 3	Пл. 2	Пл. 2	Вер. 2	Вер. 2	Вер. 2
Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1
Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1	Вер. 1

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. И. В. Борисова, Т. А. Попова. Значения исследования биолого-морфологических особенностей растений для разработки методики учета их биологической продуктивности. «Ботанический журнал» № 9, т. 51, 1966. [2]. В. Д. Дружина, В. Н. Макаревич. К методике изучения общих и пофракционных запасов растительной массы и зольного состава луговых растительных сообществ. «Ботанический журнал», № 12, т. 58, 1973. [3]. В. П. Понятовская. Изучение продуктивности луговых и степных биоценозов (современное состояние вопроса). «Ботанический журнал», № 1, т. 58, 1973.

Поступила 25 февраля 1974 г.

УДК 634.0.232 : 674.031.623.23

### КУЛЬТУРЫ ТОПОЛЯ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ БРОСОВЫХ ЗЕМЕЛЬ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ\*

Я. В. ПАНКОВ, Ф. Е. ИВАНОВ, П. Ф. АНДРЮЩЕНКО

Воронежский лесотехнический институт

Рассматривается возможность использования культур тополя и применения соответствующей агротехники на отвалах разного происхождения, сложенных из различных горных пород и их технических смесей. Указывается, что культуры тополя рекомендуются в качестве основной породы для рекультивации большинства отвалов КМА.

При добыче полезных ископаемых открытым способом отчуждаются значительные площади ценных земель. В бассейне КМА к 1980 г. площадь нарушенных бросовых земель будет составлять более 20 тыс. га\*\*. Около 50% нарушенных земель здесь представлены отвалами, сложенными из различных горных пород и их технических смесей. Они подлежат обязательному восстановлению и закреплению. Один из доступных и экономичных видов использования отвалов в этих целях — лесная рекультивация.

При облесении отвальных земель в практике широко применяют культуры тополя. Они хорошо приживаются весной и осенью, растут

\* Работа выполнена под руководством проф., доктора сельскохозяйственных наук И. В. Трещевского.

\*\* В. А. Боярский. Проблемы рекультивации нарушенных земель и использования горных выработок. В кн.: «Будущее открытых горных разработок», изд-во «Наука», М., 1972.

успешнее других древесно-кустарниковых пород. В связи с этим необходимо установить возможность создания культур тополя при соответствующей агротехнике на отвалах разного состава и происхождения.

При закладке культур тополя Пионер в большинстве случаев использовали зимние черенки. Их высаживали на отвалах, представленных различными горными породами и их техническими смесями.

В первый год приживаемость культур тополя на разных горных породах колебалась от 24,7 до 92,0%. Лучшей приживаемость культур оказалась на песках юрского периода, глинах келловей и четвертичных суглинках. Примесь мела к песку улучшает его водно-физические свойства и повышает приживаемость культур. На меловых горных породах вследствие их бедности и плохих физических свойств мела приживаемость тополя очень низка (24,7%); так же низка она на песке батском из-за его токсичности, где другие древесно-кустарниковые породы почти полностью погибли в первый год.

Довольно успешно растут культуры на песчаных и песчано-меловых горных породах, где в первый год прирост их составил около 45 см. Незначительная примесь батского песка к суглинку способствовала улучшению роста культур в 1,3 раза по сравнению с культурами на чистых суглинках. Очень плохо тополь растет на мелах, где средний прирост составил всего лишь 8,4 см. Примесь мергеля к мелу улучшает приживаемость культур в 3 раза и увеличивает прирост на 160%.

В последующие 3 года в культурах тополя наблюдается отпад, который на песчано-меловых смесях, песках и мелах составляет не более 10%, а на суглинках — 45%. Лучший рост культур отмечается также на горных породах легкого механического состава, хотя в последующие годы он уменьшается в 1,4—1,8 раза по сравнению с первым годом. На горных породах тяжелого механического состава, при отсутствии ухода прирост уменьшается в 4,4 раза. Обильное появление сорной растительности на этих породах требует проведения ухода за лесокультурами.

Успешность роста культур с возрастом подтверждается исследованиями 10-летних производственных культур тополя душистого и пирамидального на песчано-меловой смеси, у которых средний прирост в 1973 г. составлял от 57,1 до 66,5 см. На технической смеси из глины келловей, четвертичного суглинка и батского песка тополь бальзамический в таком же возрасте имел средний прирост 70 см.

При создании культур тополя на отвалах очень важна агротехника. Культуры тополя дали хорошие результаты как при ручной посадке на откосах, так и при механизированной на поверхности отвалов в весеннее и осеннее время.

Используя однолетние окоренные черенки при посадке культур на песках и песчано-меловых горных породах, можно добиться 100% приживаемости и увеличения энергии роста на 120—150% по сравнению с культурами из зимних черенков. Применяя крупномерный посадочный материал, можно также достигнуть высокой приживаемости, но в данном случае наблюдается слабый рост культур в течение 7—10 лет. Так, культуры тополя, высаженные в 1969 г. 4-летними саженцами со средней высотой более 2 м, имели незначительный прирост в высоту (5,1—5,3 см). Это объясняется большой диспропорцией между надземной частью и корневой системой растений.

Глубокая (заглубление корневой шейки до 60 см) посадка окоренных черенков тополя дает лучшие результаты, чем мелкая (до 10 см). Культуры 4-летнего возраста, созданные глубокой посадкой, имели высоту в 2,7, средний прирост и диаметр в 2,3 раза выше, чем

при мелкой посадке. Различие в росте вызвано тем, что при глубокой посадке четко выражена двухъярусность корневой системы и лучшее ее развитие, чего не наблюдается при мелкой посадке.

Обрезка главных побегов тополя на пень вызывает более интенсивное развитие корневой системы, после чего прирост культур в первый год увеличивается в 1,6 раза по сравнению с контролем. В последующие годы эти различия в росте сглаживаются.

Внесение небольшого количества суглинка при посадке тополя на песчано-меловой смеси не оказало положительного влияния на состояние и рост культур. Наличие же суглинистых прослоек мощностью более 30 см на глубине 1 м улучшает рост культур в 2,5—3 раза.

При нанесении черноземного слоя мощностью от 20 до 80 см на мело-мергелевую смесь энергия роста культур возрастает до 47%. Это повышение прямо пропорционально мощности нанесенного гумусового слоя. Но при отсутствии ухода в результате разной степени засоренности в такой же зависимости приживаемость культур уменьшается до 21%.

На суглинистых горных породах посадки культур следует производить в кратчайшие сроки после завершения отвалов, пока нет травянистой растительности и сильного уплотнения горных пород.

Применяя минеральные удобрения, можно значительно повысить энергию роста культур. Так, на глинах келловея прирост тополя в высоту увеличивается до 240%.

Итак, тополь обеспечивает наиболее быстрое закрепление и облесение отвалов, что позволяет рекомендовать его в качестве основной породы для рекультивации большинства отвалов КМА.

Поступила 11 марта 1974 г.

УДК 634.05

## ОБЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМЫ ДРЕВЕСНОГО СТВОЛА

П. И. ВОЙЧАЛЬ

Архангельский лесотехнический институт

Показана применимость уравнения образующей ствола в виде  $y^2 = kx^m$  для деревьев сосны, ели, дуба, осины и березы с высотами от 45 см до 31 м и диаметрами от 6 мм до 100 см. Объемы стволов вычисляются по трем измерениям: высоте, диаметру на 0,1  $H$  и диаметру на 0,5  $H$ ; последний можно заменить диаметром на 0,05  $H$ , используя корреляционное уравнение между диаметрами для данной породы.

Развивая исследования формы и объемов стволиков маломерной сосны [1—3], мы попытались найти такую математическую модель ствола, которая с достаточной степенью точности аппроксимировала бы форму ствола различных древесных пород всех возрастов из разных лесорастительных условий и давала бы возможность определить сбег и объем отдельного ствола на основании небольшого числа доступных таксатору измерений.

Методика наших исследований применительно к маломерным деревьям сосны изложена ранее [2], [3]. Для более взрослых деревьев в нее пришлось внести коррективы, а именно за исходный принять диаметр на 0,1 высоты ствола  $d_{0,1}$  и пользоваться нормальными видовыми числами  $f_n$  и нормальными коэффициентами формы  $q_n$ . Эти величины вычисляли по формулам

$$q_{in} = \frac{d_i}{d_{0,1}}; \quad (1)$$

$$f_n = \frac{1}{(m+1)(0,9)^m}. \quad (2)$$

Объемы находили по формуле

$$v = \frac{\pi}{4} f_n d_{0,1}^2 h. \quad (3)$$

Экспериментальным материалом послужили заложенные нами пробные площади и срубленные модельные деревья.

Дисперсионный анализ экспериментальных данных не выявил существенных различий в форме и объеме стволов между деревьями различных классов бонитета (I—V) и возраста (70—190 лет), а также различных областей роста. Поэтому натурные данные обработаны с разделением только по породам. Всего в нашем распоряжении оказалось 26 пробных площадей с числом модельных деревьев сосны — 102 и ели — 157.

Математическая модель в большинстве случаев очень близко аппроксимирует фактический сбег стволов сосны и ели. Лишь для нулевой высоты и самых верхних частей ствола (в пределах кроны) эти ошибки оказались больше, что следовало ожидать. На высотах от 0,85 у сосны и 0,75 у ели фактические коэффициенты формы значительно ниже, чем по математической модели.

Для отдельных деревьев модель с вероятностью 0,95 обеспечивает точность коэффициентов формы в пределах до 10% для высот 0,05—0,60.

Мы исследовали также распределение объемов стволов по десяти секциям (по схеме В. К. Захарова). Оказалось, что возможные ошибки в относительных объемах секций несколько выше, чем ошибки в коэффициентах формы. Допустимые средние ошибки (до 10%) выявились в секциях 2—8 у сосны и 1—7 у ели. Для отдельных деревьев в большинстве случаев с вероятностью 0,95 мы можем ручаться за то, что в секциях 1—6 ошибки ниже 15%. В остальных секциях ошибки значительно выше, но это не имеет существенного значения, поскольку объемы этих секций относительно малы.

Следовательно, теоретическое распределение общего объема ствола по секциям достаточно близко к фактическому.

Сопоставляя вычисленные по модели (теоретические) и фактические коэффициенты формы и относительные объемы секций, мы получили соответствующие коэффициенты сглаживания [4] для сбega и объемов. В соответствии с данными М. Л. Дворецкого [5], в подавляющем числе случаев эта связь очень высокая, реже — высокая.

Установленные закономерности сбega ствола позволяют решить вопрос об использовании математической модели для вычисления объема ствола по трем величинам: высоте, диаметру на 0,1 высоты и нормальному видовому числу. Последнее, в соответствии с формулой (2), определяют через показатель  $m$ , который, в свою очередь, устанавливают по коэффициенту формы  $q_2$  следующим образом. Из основной формулы образующей ствола  $y^2 = kx^m$  следует, что

$$0,5d_{0,5} = k(0,5h)^{m/2},$$

а

$$0,5d_{0,1} = k(0,9h)^{m/2},$$

следовательно,

$$q_2 = d_{0,5} : d_{0,1} = (0,556)^{m/2}.$$

Поскольку каждая из величин, входящих в формулу объема ствола (3), определяется с округлением, то есть вносит в цифру объема свою ошибку, необходимо оценить величину каждой из этих ошибок, а также их результирующую. Согласно теории ошибок мы имеем относительную ошибку в объеме

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + \frac{\Delta f_n}{f_n} + \frac{2\Delta d_{0,1}}{d_{0,1}} + \frac{\Delta h}{h}, \quad (4)$$

где буквой  $\Delta$  обозначены ошибки каждого измерения или вычисления.

Определим все величины, входящие в равенство (4). Число  $\pi$  обычно берется равным 3,14, следовательно  $\Delta \pi = 0,005$ .

Из формулы (2)

$$\frac{\Delta f_n}{f_n} = \frac{\Delta m [1 + (m + 1) |g|1,11]}{m + 1}, \quad (5)$$

Учитывая, что в наших материалах величина  $m$  колебалась от 2,60 до 0,30 и что  $\Delta m$  мы приняли равным 0,005, найдем  $\frac{\Delta f_n}{f_n} = = 0,002 \div 0,004$ .

Поэтому можно (даже с запасом точности) принять  $\frac{\Delta f_n}{f_n} = \Delta m = = 0,005$ , или 0,5%. Присоединяя сюда  $\frac{\Delta \pi}{\pi} = 0,16\%$  и округляя результат, примем (также с запасом) эту сумму в 1%.

При измерении диаметров с точностью 0,5 см  $\Delta d_{0,1} = 0,25$  см. Измеряя высоты в метрах, имеем  $\Delta h = 0,5$  м.

В наших материалах высоты деревьев колеблются от 31 до 6 м, диаметры ( $d_{0,1}$ ) — от 50 до 8 см. Подставляя эти величины в равенство (4), получим, что объем ствола определяется формулой (3) с относительной ошибкой от 2,8 до 12,1% (в среднем 7,5%). Среднюю ошибку можно считать допустимой; наибольшая получается для стволов самых тонких и низких. Отсюда следует вывод, что для маломерных стволов точность измерений должна быть более высокой.

Результаты расчетов для всех стволов сосны и ели сведены в табл. 1. Совпадение теоретических объемов (по модели) с фактическими оказалось очень хорошим. Очень высоки также коэффициенты сглаживания. Для отдельных стволов с вероятностью 0,95 можно ручаться, что ошибки в объемах не превышают 8—9%. Таковы наши выводы для взрослых деревьев.

Таблица 1

Показатели	Величина показателей			
	по породам		по географическим районам	
	сосна	ель	Архангельская область	Коми АССР
Среднее арифметическое	99,9	101,4	101,3	100,0
Средняя ошибка	0,65	0,36	1,03	0,99
Среднее квадратическое отклонение	4,36	4,43	7,49	7,02
Коэффициент вариации	4,37	4,37	7,38	7,02
Показатель точности	0,65	0,35	1,04	0,99
Доверительные границы	101,2—98,6	102,1—100,7	103,3—99,3	101,9—98,1
Ошибка отдельного ствола	8,5	8,7	14,7	13,8
Коэффициент сглаживания	0,999	0,998	0,994	0,990

Естественно было попытаться применить формулу (3) и к маломерным стволикам, для определения объемов которых уже была доказана возможность пользоваться диаметрами у шейки корня и абсолютными видовыми числами. Материалы для исследования были охарактеризованы ранее [1—3].

Повторив вычисления для маломерных стволов, мы получили результаты, показанные в табл. 1. Как видно из таблицы, формула (3) обеспечивает столь же высокую среднюю точность определения объемов маломерных стволиков, как и для стволов взрослых деревьев. Значит, наша математическая модель одинаково пригодна для деревьев с амплитудой высот от 45 см до 31 м. Этот результат должен быть расценен как блестящее доказательство всеобщности математической модели.

Для отдельных маломерных стволов точность оказалась, естественно, ниже и составила 14—15%. Важно разобраться, зависят ли такие ошибки от метода вычисления объема (то есть вида модели) или вызваны другими причинами.

Если для взрослых деревьев вполне приемлема точность измерения высоты 1 м и диаметра 0,5 см, то для маломерных стволов она уже недостаточна. Поэтому нам пришлось искать пути определения наибольших ошибок в элементах объема ствола, которые позволяли бы получить этот объем с допустимой точностью.

Принимая наибольшую допустимую ошибку в объеме  $\frac{\Delta v}{v} = 10\%$ , а также помня принятую нами ошибку для  $\pi$  и  $f_n$ , видим, что на ошибки диаметра и высоты в формуле (4) остается 9%. Поскольку ошибка диаметра входит в формулу с множителем 2, а ошибка высоты не имеет множителя, то, по нашему мнению, можно распределить общую ошибку следующим образом: на диаметр — 6% и на высоту — 3%. Тогда  $\Delta h = 0,03h$  и  $\Delta d_{0,1} = 0,03d_{0,1}$ .

Для дополнительной проверки наших выводов о строении стволов и подсчете их объемов мы использовали данные некоторых массовых таблиц объемов и сбega. Применив предложенный метод к нескольким выборочно взятым деревьям сосны, ели, дуба, березы и осины, мы получили хорошие результаты (табл. 2), которые еще раз свидетельствуют о жизненности нашей математической модели.

Таблица 2

Порода	h, м	d <sub>0,1</sub> см	Объем, м³		Ошибка, %	Автор работы
			фактический	вычисленный		
Сосна	30	28	0,839	0,812	—3,2	Д. И. Товстолес [9]
	30	44	1,99	2,01	+1,0	
	20	28	0,572	0,596	+4,4	
Ель	30	28	0,855	0,864	+1,2	В. К. Захаров [6]
	30	56	3,41	3,44	+1,0	
	20	32	0,784	0,799	+2,0	
Дуб	29	56	2,93	2,92	—0,3	С. В. Куканов [7]
	20,5	36	0,90	0,90	0	
	30	32	1,17	1,12	—4,5	
Береза	20	18	0,256	0,250	—2,5	Б. В. Шустов [12]
	30	100	10,67	11,05	+3,6	
	20	12	0,110	0,112	+1,8	
Осина	20	14	0,141	0,143	+1,5	А. В. Гюрин [10]
	20	14	0,141	0,143	+1,5	

Все изложенное применимо к стволу только тогда, когда он доступен для точного измерения диаметра на половине высоты. Но это возможно лишь в случае низкорослых деревьев (примерно до 3—4 м)

или поваленных. Мы сделали попытку найти корреляционную связь между диаметром на половине высоты ствола и другим, легко измеряемым диаметром. Эта попытка перекликается с мыслью М. Е. Ткаченко [8]. Мы выбрали диаметр на 1/20 высоты ( $d_{0,05}$ ), поскольку даже у высоких деревьев (например, 30 м) он находится в пределах досягаемости. По нашим материалам, связь названных диаметров выражается следующими уравнениями:

$$\tilde{d}_{0,5} = 0,61d_{0,05} + 0,7 \quad (r = 0,933 \pm 0,012); \quad (6)$$

для ели

$$\tilde{d}_{0,5} = 0,64d_{0,05} + 1,0 \quad (r = 0,950 \pm 0,008). \quad (7)$$

Вычислив по этим уравнениям диаметры на половине высоты для каждого дерева, мы нашли, что при измерении  $d_{0,05}$  и использовании его связи с  $d_{0,5}$  можно получить средний объем с погрешностью не более 2%. Правда, в индивидуальных объемах отклонения от истинных велики (до 21%), но почти в 90% случаев эти ошибки не превышают 15%. Таким образом, использование связи между  $d_{0,05}$  и  $d_{0,5}$  принципиально возможно.

В заключение можно сделать вывод, что изученная математическая модель позволяет успешно аппроксимировать сбег и объем любого ствола различных пород при трех измерениях: высоты и двух диаметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. П. И. Войчалъ, О вычислении объемов сосенок, не достигших высоты груди. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 1971. [2]. П. И. Войчалъ, Математическая модель стволика маломерной сосны. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 6, 1972. [3]. П. И. Войчалъ, Индивидуальные объемы маломерных сосенок. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 2, 1973. [4]. И. И. Гусев, Вариационная статистика, Изд. АЛТИ, Архангельск, 1970. [5]. М. Л. Дворецкий, Практическое пособие по вариационной статистике. Йошкар-Ола, 1961. [6]. В. К. Захаров, Объем и сбег стволов ели. Массовые таблицы по бонитетам, Союзлеспром, 1931. [7]. С. В. Куканов, Сбег и объем стволов ели в лесах Архангельской губернии. Архангельский губернский лесной отдел, Архангельск, 1929. [8]. М. Е. Ткаченко, Закон объемов древесных стволов и его значение для массовых и сортиментных таблиц. Сельхозгиз, 1932. [9]. Д. И. Товстолес, Объем и сбег стволов сосны. Массовые таблицы по бонитетам, Союзлеспром, 1931. [10]. А. В. Тюрин, Объем и сбег стволов осины. Массовые таблицы по бонитетам, Союзлеспром, 1931. [11]. А. В. Тюрин, Объем и сбег стволов березы. Массовые таблицы по бонитетам, Союзлеспром, 1931. [12]. Б. В. Шустов, Объем и сбег стволов дуба. Массовые таблицы по бонитетам, Союзлеспром, 1931.

Поступила 27 мая 1974 г.

УДК 634.0.892.6

## СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОСТА ДЕРЕВЬЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ С ВЫХОДОМ И СОСТАВОМ ЭФИРНОГО МАСЛА

Р. И. ДЕРЮЖКИН, Л. В. КРАСНОБОЯРОВА, В. Г. ЛАТЫШ,  
Р. Д. КОЛЕСНИКОВА

Воронежский лесотехнический институт

Исследован выход и состав углеводородной части эфирного масла из деревьев лиственницы сибирской разных классов роста. Методами математической статистики установлена тесная положительная корреляция между выходом эфирного масла и классом роста деревьев. Количественный состав углеводородной части эфирного масла также зависит от класса роста деревьев лиственницы сибирской.

Исследования эфирных масел различных видов сосны, ели и лиственницы показали различия в качественном и количественном составе компонентов эфирного масла [1], [6], [3]. Следовательно, этот показатель, наряду с другими, может быть использован в диагностике видов и разновидностей хвойных пород.

В то же время некоторые авторы отмечают большую изменчивость деревьев в естественных насаждениях по смолопродуктивности и качеству живицы. В связи с этим возникает вопрос об установлении связи показателей роста деревьев с количеством и качеством эфирных масел, содержащихся в их отдельных частях. Насколько нам известно, в культурах лиственницы сибирской за пределами ареала таких исследований не было.

Объектом для наших исследований послужили 17-летние деревья разных классов роста, отобранные в опытных культурах лиственницы сибирской из Хакасии, произрастающих на серых свежих суглинистых почвах в квартале 54 Учебно-опытного лесхоза Воронежского лесотехнического института.

Для изучения эфирных масел было взято по четыре дерева I и II классов и восемь деревьев III класса роста по Крафту. Пробы отбирали в июне 1970 г. Для отгонки эфирного масла использовали одногодичные побеги, которые предварительно измельчали до частиц размером 3—5 мм. Эфирное масло отгоняли с водяным паром при температуре 96°C. Впоследствии объем и вес отогнанного эфирного масла определяли при температуре 20°C и рассчитывали выход эфирного масла в процентах к сухому веществу, взятому для анализа.

Данные о выходе эфирного масла обработаны методом математической статистики. При этом решались однофакторные дисперсионные комплексы [5].

В табл. 1 и 2 приведены итоги анализа одного из таких комплексов. Показатель силы влияния фактора:  $\eta_x^2 = 0,84$ ; доверительные границы генерального показателя  $\bar{\eta}_x^2 = 0,71 \div 0,97$  (табл. 1).

Наименьшие существенные различия составляют 0,050% при  $B = 0,05$  и 0,071% при  $B = 0,01$  (табл. 2).

Таблица 1

Разнообразие	Дисперсия $S^2$	Число степеней свободы $\nu$	Вариансы $\sigma^2$	Значение критерия			
				фактическое	теоретическое при $V$		
					0,95	0,99	0,999
Общее	96	15	—	—	—	—	—
Факториальное	81	2	40,5	42	3,8	6,7	22,3
Случайное	15	13	1,7	—	—	—	—

Таблица 2

Градация фактора (класс роста по Крафту)	Средний выход эфирного масла, %	Различия между средними	
		III	II
I	0,35	0,11	0,06
II	0,29	0,05	—
III	0,24	—	—

Таким образом, при высшем пороге вероятности безошибочного суждения доказано влияние классов роста деревьев лиственницы сибирской на выход эфирного масла из одногодичных побегов.

Дальнейшим анализом данных о выходе эфирного масла из одногодичных побегов установлена положительная корреляция этого показателя с диаметром ствола ( $r = 0,78$ ) и высотой подопытных деревьев ( $r = 0,54$ ).

Состав углеводородной части эфирного масла из годичных побегов деревьев разных классов роста исследовали методом газо-жидкостной хроматографии с учетом соответствующих рекомендаций для анализа терпенов [2], [4].

Работа выполнена на хроматографе УХ-1. Колонку из нержавеющей стали (6000×4 мм) заполняли инзенским диатомитовым кирпичом марки ИНЗ-600 (зернение 0,25—0,50 мм), пропитанным трикрезилфосфатом (10% от веса носителя). Детектор — катарометр, ток детектора 220 мА, газ-носитель — гелий, скорость газа-носителя — 78 мм/мин. Разделение проводили при температуре 112°C. Идентификацию компо-

Таблица 3

Компоненты эфирного масла	Содержание монотерпеновых углеводородов, %, у деревьев разных классов роста		
	I	II	III
Сантен	0,09	0,05	0,08
Трициклен	0,42	0,38	0,50
$\alpha$ -пинен	9,98	12,85	14,39
Феянен	0,16	0,16	0,19
Камфен	1,53	2,52	1,92
$\beta$ -пинен	10,13	10,32	13,02
Мирцен	5,00	4,99	4,88
$\Delta^3$ -карен	50,86	47,08	41,36
$\alpha$ -фелландрен	2,56	2,65	2,37
$\alpha$ -терпинен	2,19	1,97	2,14
Дипентен	2,59	2,84	3,06
$\beta$ -фелландрен	4,05	4,16	4,27
Цинеол	0,55	0,75	0,75
$\gamma$ -терпинен	2,80	2,83	3,58
<i>l</i> -цимол	2,83	2,59	3,02
Терпинолен	4,26	3,96	4,47

нентов эфирного масла на хроматограммах проводили по относительно-му времени удерживания и путем подсадки заведомо чистых веществ.

Количественный состав компонентов рассчитывали методом внутренней нормализации. Наибольшее внимание было обращено на монотерпены — основную часть эфирного масла лиственницы.

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что эфирные масла из однолетних побегов деревьев лиственницы сибирской, относящихся к различным классам роста, имеют одинаковый качественный состав (16 компонентов).

Данные о количественном составе углеводородной части эфирного масла были обработаны методом дисперсионного анализа. При этом установлено, что классы роста деревьев не оказывают существенного влияния на количественное распределение монотерпеновых углеводородов в эфирном масле.

Влияние классов роста на содержание  $\Delta^3$ -карена доказано при низшем пороге вероятности безошибочного суждения. В эфирном масле из однолетних побегов деревьев I класса роста больше  $\Delta^3$ -карена, чем в масле деревьев II и III классов. Это понижение содержания  $\Delta^3$ -карена в эфирном масле деревьев (от I к III классу) сопровождается некоторым увеличением содержания  $\alpha$ -пинена и  $\beta$ -пинена.

Дальнейшими исследованиями следует выяснить селекционное значение рассмотренных показателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] И. И. Бардышев, Р. И. Зенько, И. В. Горбачева, Г. И. Васильева, Т. П. Карачук. Свойства и химический состав скипидаров, выделенных из живицы сосны обыкновенной, произрастающей в различных районах Советского Союза. Журн. «Гидролизная и лесохимическая промышленность» № 7, 1969. [2] Г. Берчфилд, Э. Сторре. Газовая хроматография в биохимии. Труды III Международного симпозиума по газовой хроматографии в Эдинбурге, изд-во «Мир», М., 1964. [3] Р. И. Дерюжкин, М. В. Ливадин, В. Г. Латыш. Химический состав эфирных масел некоторых видов лиственницы. Научные труды ВЛТИ, т. 33, 1971. [4] В. И. Куликов. Анализ терпенов методом газо-жидкостной хроматографии. Автореферат кандидатской диссертации, Минск, 1968. [5] Н. А. Плохинский. Биометрия. Изд. МГУ, 1970. [6] N. T. Mirov. Composition of Gum Turpentine of Pinus. Technical Bulletin 1239, U. S. Dept. of Agriculture, 1961.

Поступила 4 февраля 1974 г.

УДК 634.0.812 : 634.0.284

## ВЛИЯНИЕ ПОДСОЧКИ НА МИКРОСТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ БОРОДАВЧАТОЙ

В. П. РЯБЧУК

Львовский лесотехнический институт

Доказано, что интенсивная трех- и четырехлетняя подсочка не приводит к существенному изменению размеров и объема анатомических элементов древесины. Выявлена тенденция к уменьшению диаметра сосудов в подсоченных деревьях при одновременном увеличении их количества на  $1 \text{ см}^2$ .

Изучение анатомического строения древесины березы в связи с подсочкой имеет большое научное и практическое значение. К сожалению, в научной литературе мы не встретили сведений о влиянии подсочки на физические и механические свойства древесины.

Чтобы ответить на вопрос, как подсочка березы бородавчатой влияет на микростроение древесины, были заложены пробные площади в

Цуманском (проба 1) и Маневичском (проба 2) лесхозагах УССР. Состав насаждений пробной площади 1 — 8Б2С+0с, класс бонитета II, полнота — 0,7, класс возраста — VI, средний диаметр — 21,0 см; состав насаждения пробной площади 2 — 7Б3Ос, ед. С, класс бонитета — I, полнота — 0,8, класс возраста — VII, средний диаметр — 25,6 см.

На пробной площади 1 подсочку вели на протяжении трех лет: в первый год — при помощи V-образных подновок [2], во второй — путем высверливания двух отверстий, в третий — одного отверстия [5]; на пробной площади 2 — в течение четырех лет путем ежегодного сверления двух отверстий на каждом стволе.

В соответствии с рекомендациями «Временных правил подсочки березовых насаждений для заготовки сока в лесах УССР», утвержденных Министерством лесного хозяйства республики в 1972 г., нагрузка на деревья диаметром 24 см должна составлять одно отверстие, диаметром 28—32 см — два отверстия. На наших пробных площадях нагрузка в 2—2,5 раза превышала рекомендованную.

Для изготовления препаратов из подсоченных моделей (ПМ) образцы брали из годичных слоев древесины периферической части (П-1) в период подсочки и из 1—2 слоев до подсочки (П-2), а для сравнения — из неподсоченных моделей (НМ), из периферических частей (Н-1), во всех случаях на уровне отверстий. Микросрезы изготавливали на санном микротоме МС-1. Для измерения ширины и высоты сердцевинных лучей использовали биологический микроскоп МБИ-3. Все остальные измерения были произведены при помощи микрофотографий, изготовленных с микрофотонасадкой ФЛН-12 или с микроскопом непосредственно на фотобумаге. Микрофотографии поперечных срезов имели увеличение 180—800 раз. Процентное соотношение тканей древесины определяли на микрофотографиях поперечного среза в соответствии с методикой А. А. Яценко-Хмелевского и Н. Н. Брегадзе [6]. Полученные данные обрабатывали методами математической статистики [3].

В табл. 1 показаны размеры анатомических элементов для пробной площади 2 в среднем за три последних года. Из приведенных данных видно, что толщина оболочек волокон либриформа оказалась прак-

Таблица 1

Показатели	Место взятия образцов	Статистические показатели							
		n	M		±σ	±m	V, %	P, %	t
			M <sub>к</sub>	%					
Толщина оболочек либриформа	Н-1	72	3,44	99,4	1,03	0,121	29,9	3,5	0,3 < 3
	П-1	67	3,46	100,0	1,14	0,139	32,9	4,0	
	П-2	63	3,50	101,2	1,08	0,136	30,9	3,9	
Диаметр полостей либриформа	Н-1	51	9,91	94,7	3,49	0,49	35,2	4,9	0,8 < 3
	П-1	75	10,46	100,0	4,40	0,51	42,1	4,9	
	П-2	64	12,04	115,1	3,37	0,42	27,5	3,5	
Диаметр полостей сосудов	Н-1	51	59,0	108,9	15,04	2,11	25,5	3,6	1,7 < 3
	П-1	46	54,2	100,0	13,56	2,00	25,0	3,7	
	П-2	57	73,6	135,8	17,70	2,34	24,1	3,2	
Ширина сердцевинных лучей	Н-1	76	17,98	89,1	7,95	0,91	44,2	5,1	1,6 < 3
	П-1	64	20,17	100,0	8,60	1,08	42,6	5,4	
	П-2	56	20,55	101,9	10,92	1,46	53,1	7,1	
Высота сердцевинных лучей	Н-1	60	247,2	113,2	65,71	8,48	26,6	3,4	2,2 < 3
	П-1	61	218,3	100,0	78,30	10,03	35,9	4,6	
	П-2	60	252,1	115,5	52,50	6,77	20,8	2,7	

тически одинаковой, как в ПМ, так и в НМ. Диаметр полостей сосудов у ПМ на 8,9% ниже, чем у НМ. Тот же показатель ПМ за период подсочки уменьшился в среднем на 35,8% по сравнению с данными для древесины до подсочки. Отсюда следует, что в период подсочки наблюдается тенденция к уменьшению диаметра сосудов в ПМ. В целом, как видно из табл. 1, трехлетняя подсочка не вызвала существенного изменения размеров анатомических элементов древесины.

Анализ размеров анатомических элементов древесины пробной площади I после четырехлетней подсочки показал идентичность в изменении толщин клеточных оболочек волокон либриформа и их полостей, ширины и высоты сердцевинных лучей в древесине ПМ и НМ. Диаметр полостей сосудов ПМ в радиальном направлении уменьшался в среднем на 9,4%, а НМ увеличивался на 4,3% по сравнению с этими данными у древесины, взятой до подсочки. Наоборот, диаметр полостей сосудов ПМ в тангентальном направлении увеличивался в среднем на 8,0%, НМ — на 0,6%. Таким образом, четырехлетняя подсочка, аналогично трехлетней, вызывает уменьшение, хотя и незначительное, диаметра сосудов. По мнению В. Е. Вихрова [1], такое уменьшение повышает силу капиллярности сосудов, хотя скорость водного тока снижается.

Отверстия, давая доступ воздуху, вызывают понижение давления восходящего и нисходящего токов [4]. По-видимому, уменьшение диаметра сосудов в подсоченных деревьях березы, повышая их капиллярность, является защитной мерой живого организма против понижения внутреннего давления восходящего и нисходящего токов.

Таблица 2

Показатели	Год проведения измерений	Объем анатомических элементов $M \pm m$ , %		Достоверность разницы $t$
		ПМ	НМ	
Объем волокон либриформа и древесной паренхимы	0	69,6 ± 0,66	71,3 ± 1,02	1,2 < 3
	1	70,1 ± 0,67	70,6 ± 1,58	0,3 < 3
	2	66,9 ± 0,71	68,5 ± 1,49	0,2 < 3
	3	70,1 ± 0,75	70,7 ± 1,32	0,4 < 3
	4	72,4 ± 0,74	69,0 ± 1,63	1,9 < 3
Среднее за 4 года		69,8 ± 0,36	68,8 ± 0,75	0,0 < 3
Объем сосудов	0	20,7 ± 0,84	18,3 ± 0,90	1,9 < 3
	1	19,3 ± 0,98	18,3 ± 1,26	0,6 < 3
	2	23,3 ± 1,06	20,4 ± 1,26	1,7 < 3
	3	20,9 ± 1,08	18,0 ± 1,13	1,9 < 3
	4	18,2 ± 0,99	19,7 ± 1,28	0,9 < 3
Среднее за 4 года		20,5 ± 0,52	19,1 ± 0,62	1,7 < 3
Объем сердцевинных лучей	0	9,7 ± 0,33	10,4 ± 0,34	1,5 < 3
	1	10,6 ± 0,30	11,1 ± 0,63	0,7 < 3
	2	9,8 ± 0,31	11,1 ± 0,63	1,9 < 3
	3	9,0 ± 0,35	11,3 ± 0,66	3,1 > 3
	4	9,4 ± 0,34	11,1 ± 0,59	2,5 < 3
Среднее за 4 года		9,7 ± 0,16	11,1 ± 0,31	4,0 > 3
Количество сосудов в 1 см <sup>2</sup>	0	1622,0 ± 58,99	1852,5 ± 69,99	2,5 < 3
	1	1713,5 ± 75,19	1457,6 ± 67,34	2,5 < 3
	2	1793,1 ± 65,09	1459,4 ± 52,48	4,0 > 3
	3	1595,4 ± 54,99	1710,9 ± 50,00	1,6 < 3
	4	1727,6 ± 98,38	1781,4 ± 54,27	0,5 < 3
Среднее за 4 года		1681,7 ± 36,60	1634,5 ± 28,75	1,0 < 3

Примечание. Год 0 — год до подсочки. Годичные слои отсчитывали по направлению от сердцевины к периферии.

В табл. 2 показан объем анатомических элементов и количество сосудов на  $1 \text{ см}^2$  древесины по годам и в среднем за четыре года подсочки (пробная площадь 1). Из этих данных видно, что объем анатомических элементов в древесине ПМ и НМ, за редким исключением, был тождественным, так как разница почти во всех случаях оказалась несущественной. Количество сосудов на  $1 \text{ см}^2$  в древесине ПМ увеличивалось, а в древесине НМ — уменьшалось. Так как достоверной разницы в обоих случаях не обнаружено, мы можем констатировать тенденцию соответственно к увеличению или уменьшению количества сосудов.

На основании выполненных исследований можно сделать вывод, что интенсивная трех- и четырехлетняя подсочка березы не приводит к существенному изменению размеров и объема анатомических элементов древесины.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. В. Е. Вихров. Строение и физико-механические свойства древесины дуба. Изд. АН СССР, М., 1954. [2]. И. С. Короляк. Методы подсочки березы в лесхозах Вольны. Тезисы докладов научно-технической конференции, Ивано-Франковск, 1970. [3]. Н. И. Леонтьев. Техника статистических вычислений. Изд. «Лесная промышленность», М., 1966. [4]. Н. С. Нестеров. Сахарный клен и клено-сахарное производство в Северной Америке. «Лесной журнал», вып. 1, 1896. [5]. Ю. Ф. Осипенко, В. П. Рябчук. Влияние подсочки на прирост по диаметру березы бородавчатой. Журн. «Лесное хозяйство» № 9, 1973. [6]. А. А. Яценко-Хмельевский, Н. Н. Брегадзе. К методике определения порозности древесины путем простейших измерений под микроскопом. ДАН СССР, т. XXV, № 9, 1939.

Поступила 28 января 1974 г.

УДК 534 : 634.0.232

### РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ СТВОЛОВ ДЕРЕВЬЕВ

Б. Е. ВЛАСОВ

Московский лесотехнический институт

Применительно к проблеме вибрострахивания шишек хвойных пород предложен матричный метод начальных параметров для расчета собственных колебаний ствола дерева. Метод учитывает наличие ветвей, действие продольного усилия от веса ствола и демпфирующие свойства материала древесины. Он может быть численно реализован на ЭВМ.

При решении вопросов механизации сбора шишек с растущих деревьев ученые и конструкторы используют вибрационный эффект [2]. Созданные в нашей стране и за рубежом вибрационные установки для отряхивания различных плодов и шишек показывают высокую эффективность, например, отечественная вибрационная установка ВУС-2. Теоретические и экспериментальные работы этого направления нашли отражение в литературе [7].

Применение вибрострахивания шишек хвойных пород, изучение резонансных свойств древесины на корню, а также устойчивости стоящих деревьев при колебаниях от ветра требуют знания собственных частот колебаний стволов деревьев. Задачу подобного типа решал А. А. Дебердеев [3].

Для расчета собственных частот колебаний стволов деревьев, по нашему мнению, целесообразно применить матричный метод начальных параметров [8]. Этот метод является, однако, приближенным.

Будем рассматривать реальный ствол дерева (кедр, ель и др.) с учетом изменения его толщины по длине, различий в распределении ветвей и шишек на них, механических характеристик, а также демпфирующих свойств древесины. В этом случае матричный метод особенно эффективен, так как позволяет учитывать все особенности ствола по сечениям. Поскольку ствол дерева не является правильным стереометрическим телом [1], то конкретные геометрические характеристики ствола можно выбрать по таксационным таблицам или по данным расчетов на ЭВМ (например, по В. С. Петровскому [6]). Расчеты целесообразно выполнить для определенного количества модельных деревьев.

Согласно предлагаемому методу, ствол разбивают на участки, поперечные сечения которых считают постоянными. Для каждого участка составляют зависимость между параметрами начала и конца его. Параметры начала (перемещение, угол поворота сечения, изгибающий момент и перерезывающая сила) считают известными, а параметры конца — искомыми. Параметры конца предыдущего участка являются в то же время параметрами начала последующего.

В соответствии с литературными данными [5], для консольно заделанного стержня переменного сечения со свободным концом имеем матрицы перехода порядка  $4 \times 4$  (расчет ведется от свободного конца к комлю). В дальнейшем при записи матриц используем полностью обозначения работы [5] применительно к стволу дерева:

а) для цилиндрического участка (гладкий ствол)

$$A_i = \begin{bmatrix} A_i & \beta_i B_i & \frac{\beta_i^2 C_i}{\alpha_i} & \frac{\beta_i^3 D_i}{\alpha_i} \\ \frac{\lambda_i^4 D_i}{\beta_i} & A_i & \frac{\beta_i B_i}{\alpha_i} & \frac{\beta_i^2 C_i}{\alpha_i} \\ \frac{\alpha_i \lambda_i^4 C_i}{\beta_i^2} & \frac{\alpha_i \lambda_i^4 D_i}{\beta_i} & A_i & \beta_i B_i \\ \frac{\alpha_i \lambda_i^4 B_i}{\beta_i^3} & \frac{\alpha_i \lambda_i^4 C_i}{\beta_i^2} & \frac{\lambda_i D_i}{\beta_i} & A_i \end{bmatrix}; \quad (1)$$

б) для цилиндрического участка с упруго подсоединенным грузом (ствол с веткой)

$$J_i = \begin{bmatrix} A_i & \beta_i B_i & \frac{\beta_i^2 C_i}{\alpha_i} & \frac{\beta_i^3 D_i}{\alpha_i} \\ \frac{\lambda_i^4 D_i}{\beta_i} & A_i & \frac{\beta_i B_i}{\alpha_i} & \frac{\beta_i^2 C_i}{\alpha_i} \\ \frac{\alpha_i \lambda_i^4 C_i}{\beta_i^2} & \frac{\alpha_i \lambda_i^4 D_i}{\beta_i} & A_i & \beta_i B_i \\ \frac{\alpha_i \lambda_i^4 B_i}{\beta_i^3} + \frac{\alpha_i \lambda_i C_i}{\beta_i^2} + \frac{\lambda_i^4 D_i}{\beta_i} + A_i + \\ + \chi_i A_i & + \chi_i \beta_i B_i & + \frac{\chi_i \beta_i^2 C_i}{\alpha_i} & + \frac{\chi_i \beta_i^3 D_i}{\alpha_i} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

При этом жесткость  $s$  упругого подсоединения сосредоточенной массы в выражении для  $\chi_i$  может быть подсчитана из условия равенства величин восстанавливающей силы и деформирующего усилия

$$c\Delta x = c \cdot \frac{Pl}{EF}; \quad c = \frac{EF}{l}, \quad (3)$$

где  $E$  — модуль Юнга для материала ветки;  
 $l$  — длина ветки;  
 $F$  — ее среднее поперечное сечение;  
 $P$  — деформирующее усилие;  
 $\Delta x$  — перемещение.

Используя универсальное уравнение упругой линии, массу ветки с шишками можно привести к концу консоли, вводя коэффициент приведения  $K_{\text{привед.}}$ . Тогда [4]

$$m_{\text{привед}} = k_{\text{привед}} m; \quad k_{\text{привед}} = \frac{1}{m} \int \left( \frac{\partial_i}{\partial_0} \right)^2 dm, \quad (4)$$

где  $m$  — масса ветки;

$\partial_0$  и  $\partial_i$  — соответственно прогибы свободного конца и текущего сечения;

в) для цилиндрического участка с продольным распределенным сжимающим усилием (от силы веса ствола)

$$\tilde{A}_i = \begin{bmatrix} \lambda_{2i}^2 \lambda_{1i} F'_i & \beta_i F_i^{IV} & \frac{\beta_i F_i'''}{a_i} & \frac{\beta_i^3 F_i'''}{a_i} \\ \lambda_{2i}^2 \lambda_{1i}^2 F_i'' & F_i^V & \frac{\beta_i F_i^{IV}}{a_i} & \frac{\beta_i^2 F_i'''}{a_i} \\ \frac{a_i \lambda_{2i}^2 \lambda_{1i}^2 F_i'''}{\beta_i^2} & \frac{a_i F_i^{VI}}{\beta_i} & F_i^V & \beta_i F_i^{IV} \\ \frac{a_i \lambda_{2i}^4 \lambda_{1i} F_i}{\beta_i^3} & \frac{a_i \lambda_{2i} \lambda_{1i} F_i'''}{\beta_i^2} & \frac{\lambda_{2i}^2 \lambda_{1i}^2 F_i'}{\beta_i} & \lambda_{2i} \lambda_{1i} F_i' \end{bmatrix}. \quad (5)$$

В этом случае действие продольного усилия можно учитывать от кроны до комля.

Последовательное перемножение матриц перехода дает

$$Z_n = \tilde{A}_n \tilde{A}_{n-1} \cdots J_k \cdots A_1 Z_0 = A_{(x_n)} Z_0. \quad (6)$$

где  $A_{(x_n)}$  — результирующая матрица перехода для текущего сечения с координатой  $x_n$ .

Для ствола имеем из граничных условий

$$Z_0 = \begin{bmatrix} z(0) \\ l\varphi(0) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad Z_l = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{\tilde{M}(l) l^2}{EI} \\ \frac{Q(l) l^3}{EI} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Используя (6) и (7), получим однородную систему линейных алгебраических уравнений с коэффициентами, зависящими от частоты  $\omega$ ,

$$\left. \begin{aligned} z(0) a_{11} + \varphi(0) a_{12} &= 0; \\ z(0) a_{21} + \varphi(0) a_{22} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Из (8) можно составить определитель для нахождения  $\omega$

$$\Delta(\omega) = a_{11} a_{22} - a_{21} a_{12} = 0. \quad (9)$$

Затухание в системе будет учтено, если рассматривать комплексный модуль Юнга

$$E^* = E_r + i E_i \quad (10)$$

и определять, таким образом, комплексное значение частоты.

Метод допускает численную реализацию с помощью ЭВМ. Он позволяет рассчитывать не только первую, но и высшие формы колебаний. Число сечений, на которые может быть разбит реальный ствол дерева, зависит от конкретных его особенностей. В таксационной практике диаметры принято определять разбивкой ствола на двухметровые отрезки. При использовании ЭВМ лучшим методом разбивки можно считать тот, который обеспечивает близость полученных результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. П. Анучин. Лесная таксация. Гослесбумиздат, М.—Л., 1952. [2]. Г. П. Волобуев. Самоходные вибрационные установки для отряхивания шишек с растущих деревьев. Журн. «Лесное хозяйство» № 11, 1969. [3]. А. А. Дебердеев. О влиянии поперечных изгибных колебаний ствола на соударение дерева. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1969. [4]. Б. В. Заславский. Сопротивление материалов. Оборонгиз, М., 1959. [5]. В. А. Ивович. Переходные матрицы в динамике упругих систем. Изд-во «Машиностроение», М., 1969. [6]. В. С. Петровский. Решение задач таксации древесного ствола на ЭВМ. Оптимальное планирование и управление лесопромышленными комплексами. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1970. [7]. Б. Н. Стогов, Е. И. Власов, Г. М. Кутуков, Н. И. Лебедев, И. И. Сиротков, Ю. В. Шелгунов. Машины и механизмы лесозаготовок, лесного хозяйства и лесосплава. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1967. [8]. Д. В. Хронин. Теория и расчет колебаний в двигателях летательных аппаратов. Изд-во «Машиностроение», М., 1970.

Поступила 30 августа 1974 г.

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 625.8 : 539.4

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД  
ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНО-ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА

И. И. ЛЕОНОВИЧ, П. А. ЛЫЩИК

Белорусский технологический институт

Приведены результаты исследований прочности дорожных покрытий автомобильных лесовозных дорог. Предлагаются конструкции дренажных систем и гидроизолирующих прослоек для регулирования водно-теплового режима, чем достигается увеличение прочности и устойчивости дорожных покрытий. Для прогнозирования весенней прочности покрытий рекомендуется использовать коэффициент минимальной прочности.

Дорожные покрытия, рассчитанные по наиболее неблагоприятному за  $n$  лет расчетному состоянию грунтового основания, имеют излишний запас прочности в летние и зимние периоды, поэтому при проектировании земляного полотна и дорожных одежд необходимо всемерно стремиться к выравниванию прочности дорожной одежды в течение года. Это может быть достигнуто за счет постоянного водно-теплового режима, создаваемого при помощи гидроизолирующих прослоек и дренажей в теле земляного полотна.

В целях установления влияния гидроизолирующих прослоек и дренажных систем на величину влагонакопления, а тем самым и на прочность дорожного покрытия, были проведены исследования на опытных участках автомобильной лесовозной дороги Червенского леспромхоза.

Участок дороги с гравийным покрытием толщиной 20 см и подстилающим слоем 15 см относится к третьему типу местности по условиям увлажнения. За расчетный уровень грунтовых вод принята поверхность земли. Высота насыпи земляного полотна составляет 0,7—1,1 м, продольный уклон 5‰. Грунт земляного полотна — супесь пылеватая (плотность  $\delta = 1,8 \text{ г/см}^3$ , оптимальная влажность  $W_{\text{опт}} = 16,5\%$ , влажность предела текучести  $W_T = 27\%$ ).

Поперечные профили опытных участков автомобильной лесовозной дороги представлены на рис. 1.

Гидроизолирующая прослойка из нестабилизированной полиэтиленовой пленки уложена на глубине 0,55 м от верха покрытия на всю ширину земляного полотна. Гончарные и пластмассовые дренажные трубы укладывали в верхней части земляного полотна в продольном и поперечном направлениях. На участках с гидроизолирующей и дренажем толщины песчаного подстилающего слоя и покрытия были уменьшены на 5 см.

Основные характеристики материалов, применяемых при строительстве опытных участков, представлены в табл. 1.

На опытных участках установлена контрольно-измерительная аппаратура. Для измерения влажности грунтов земляного полотна применяли почвенный влагомер АМ-11 в комплекте с мегометром и датчиками влажности и радиометрический прибор НИВ-2. Влажность грунтов периодически контролировали термостатно-весовым способом.

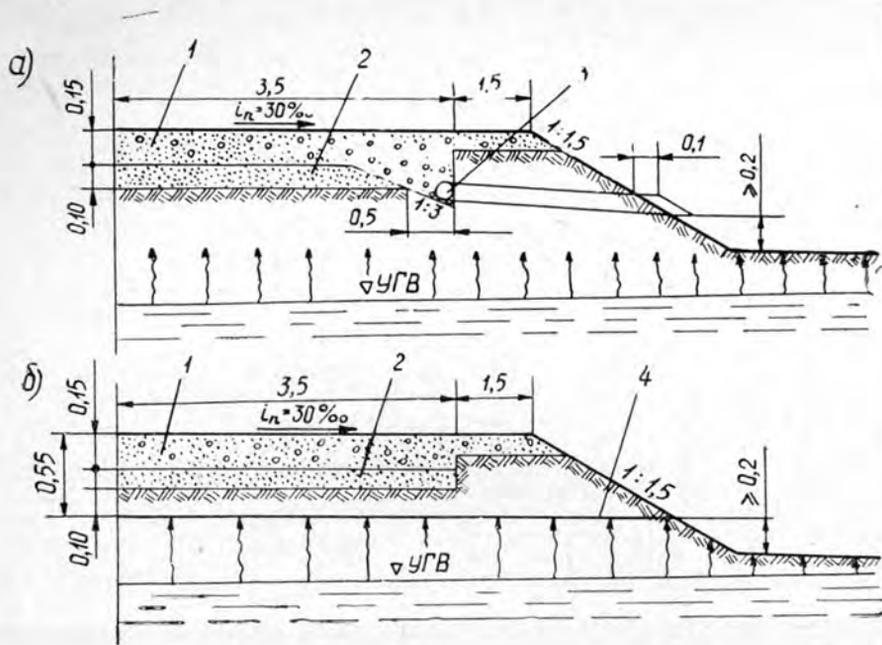


Рис. 1. Поперечные профили опытных участков автомобильной лесовозной дороги.

а — участок с продольным дренажем; б — участок с гидроизолирующей прослойкой; 1 — гравийное покрытие; 2 — песчаный подстилающий слой; 3 — гофрированная пластмассовая труба; 4 — полиэтиленовая нестабилизирующая пленка.

Таблица 1

Показатели	Единица измерения	Величина
Полиэтиленовая нестабилизирующая пленка:		
удельный вес	Г/см <sup>3</sup>	0,92
прочность на растяжение	кг/см <sup>2</sup>	130—180
модуль упругости	кг/см <sup>2</sup>	700—2000
температура размягчения	°С	110—112
морозостойкость (температура хрупкости)	°С	—70
Пластмассовые дренажные трубы:		
внутренний диаметр	мм	44,6; 92,8
толщина стенок	мм	0,8; 1,3
вес 1 пог. м трубы	кг	0,15; 0,5
диаметр водоприемных отверстий	мм	1,4
водоприемная площадь	см <sup>2</sup> /пог.м	20; 7,0
Гончарные трубы:		
внутренний диаметр	мм	50; 70
длина труб	мм	332±1
толщина стенок	мм	10±2
вес одной трубы	кг	1,2—1,7
Максимальные разрушающие нагрузки	кг	370; 640

Распределение температуры в грунтах земляного полотна контролировали датчиками ММТ-4 в комплексе с неуравновешенным мостом. Модуль деформации дорожной одежды определяли по данным вдавливания жесткого штампа и ударником Союздорнии.

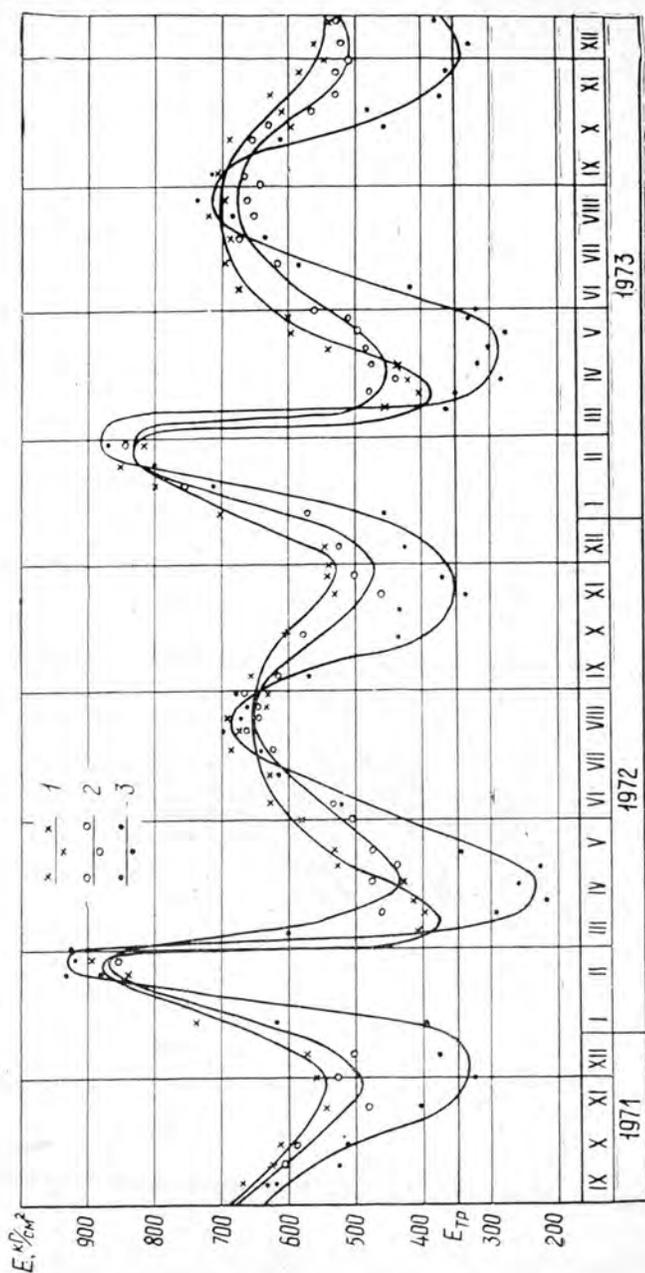


Рис. 2. Изменение прочности гравийного покрытия при различных вариантах регулирования водно-теплого режима.

1 — участок с дренажем; 2 — участок с гидроизоляцией; 3 — контрольный участок.

Результаты исследований прочности дорожного покрытия на протяжении ряда лет приведены на рис. 2.

Из полученных данных видно, что весной грунты земляного полотна переувлажняются и прочность дорожного покрытия резко снижается; на контрольном участке прочность оказалась ниже требуемой. Это явление объясняется тем, что грунты на контрольном участке имели относительную влажность в весенний период  $W_{отн} = 0,93$ . Минимальная прочность дорожного покрытия наблюдается при оттаивании земляного полотна на глубину 0,5 м, а затем по мере опускания мерзлого до-

ника и просыхания верхних слоев земляного полотна прочность увеличивается.

Весной дренаж обеспечивает отвод избыточной воды, и период минимальной прочности в 1,5—2 раза меньше, чем на участках контрольном и с гидроизоляцией. По мере просыхания верхних слоев земляного полотна и при достижении оптимальной влажности прочность покрытия значительно увеличивается. Модуль деформации в этот период приближается к величине 600—650 кг/см<sup>2</sup> и сохраняется практически постоянным на протяжении нескольких месяцев.

Осенью в результате выпадения большого количества атмосферных осадков в грунтах земляного полотна накапливается влага, и прочность дорожного покрытия понижается. В этот период положительную роль в повышении прочности дорожного покрытия играет дренаж, обеспечивающий уменьшение влажности, а период требуемой прочности увеличивается в 2—2,5 раза по сравнению с покрытиями без дренажа.

Дорожное покрытие имеет максимальную прочность в зимний период (модуль деформации около 900 кг/см<sup>2</sup>), когда грунт находится в мерзлом состоянии.

Путем устройства дренажных систем и гидроизолирующих прослоек достигается увеличение прочности дорожного покрытия, коэффициент запаса прочности  $k = \frac{E_{min}}{E_{тр}}$  всегда больше единицы.

Наблюдения за прочностью позволили установить, что при изменении  $k$  от 1 до 0,85 дорожное покрытие работает на пределе, объем разрушений не превышает 3—5%. При  $k = 0,85 \div 0,65$  на покрытиях наблюдается колейность, и объем разрушений проезжей части увеличивается до 15—20%. В этом случае целесообразно ограничить скорость движения автопоездов. Если  $k < 0,65$ , то покрытие становится не пригодным для пропуска лесовозных автопоездов. Следует закрыть дорогу во избежание разрушения покрытия.

В результате обработки данных по изменению прочности гравийных дорожных покрытий в зависимости от водно-теплого режима получен коэффициент минимальной прочности как отношение минимального модуля деформации в весенний период  $E_{вес}^{min}$  к модулю деформации в летний период  $E_{лет}$

$$k_{min} = \frac{E_{вес}^{min}}{E_{лет}}$$

Значения коэффициента минимальной прочности  $k_{min}$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип местности по условиям увлажнения	Коэффициент минимальной прочности $k_{min}$ для дорог	
	без регулирования водно-теплого режима	с регулированием водно-теплого режима
I	0,7—0,8	—
II	0,45—0,55	0,65—0,75
III	0,35—0,45	0,50—0,60

Данные таблицы позволяют прогнозировать прочность дорожных покрытий для наиболее неблагоприятного весеннего периода по результатам измерения прочности в летний период.

Сравнивая численные значения коэффициента  $k_{min}$ , можно сделать вывод, что прочность дорожных одежд на участках с регулированием водно-теплового режима в весенний период на 30—40% выше, чем на участках без регулирования.

Значения коэффициента  $k_{min}$ , приведенные в табл. 2, получены для дорожных покрытий на участках с регулированием водно-теплового режима при помощи дренажных систем и гидроизолирующих прослоек.

Исследуемые конструкции дренажей и гидроизолирующие прослойки из полиэтиленовых материалов показали надежную работу в процессе эксплуатации и могут быть использованы для регулирования водно-теплового режима, чем будет достигнута сохранность высокой прочности дорожных покрытий.

Дополнительные затраты на мероприятия по регулированию водно-теплового режима покрываются уменьшением затрат на устройство дорожных одежд, увеличением межремонтных сроков их службы и снижением себестоимости перевозок.

Повышение прочности грунтового основания путем регулирования водно-теплового режима позволит устраивать одежды меньшей толщины. Рекомендуются способы регулирования водно-теплового режима дают возможность проектировать более устойчивые и экономичные дорожные одежды с учетом особенностей условий строительства и эксплуатации автомобильных лесовозных дорог.

Поступила 12 мая 1974 г.

УДК 624.874

## УЧЕТ ЯВЛЕНИЙ ОТРЫВА ПРИ РАСЧЕТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ КОЛЕЙНЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Р. Л. КОРОВКИН

Архангельский лесотехнический институт

Приводится расчет балки на упругом основании при односторонней связи с основанием, нагруженной импульсной нагрузкой. Дается сравнение расчета с опытом.

Как показывают экспериментальные исследования Н. И. Скрилова [2], Б. В. Уварова [3], [4] и др., при загрузке конца плиты нагрузкой от заднего колеса автомобиля противоположный конец ее отрывается от основания. В литературе это обстоятельство получило название «явление отрыва». Расчет конструкций на упругом основании без учета этого явления может привести к значительным погрешностям.

Впервые расчет балок на упругом основании с учетом явления отрыва для условий статического нагружения был выполнен А. А. Афондульевым [1] с использованием гипотезы коэффициента постели. Недостаток этого метода — графическое определение точки отрыва. Б. В. Уваров решил подобную задачу для балки, лежащей на упругом полупространстве [3].

Расчет плит при динамическом нагружении основывается на полученном ранее решении [4].

Если балка по длине может быть разделена на два участка, один из которых находится в контакте с основанием, а другой в отрыве от него, то участок  $l(t)$ , соприкасающийся с основанием (рис. 1, а), следует

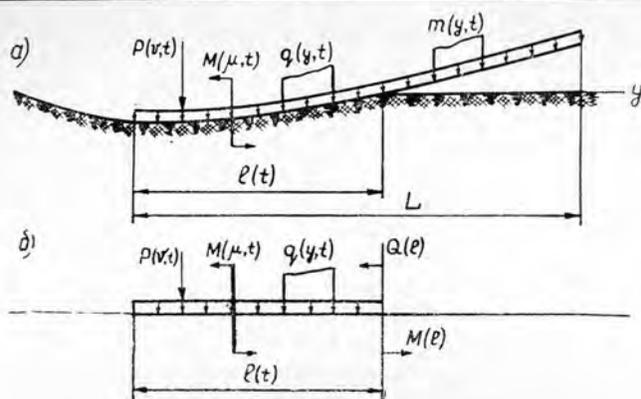


Рис. 1.

*a* — схема нагружения плиты; *b* — расчетная схема.

рассматривать как самостоятельную балку. Действие оторвавшейся от основания части заменяется сосредоточенной силой и моментом, приложенными на правом конце расчетного участка балки. Сосредоточенная сила и момент могут быть выражены через искомую величину  $l(t)$ . При определении  $l(t)$  задача сводится к отысканию такой точки по длине балки, в которой реакция основания равна нулю  $P(l) = 0$ , и последующему расчету балки длиной  $l(t)$  для каждого определенного момента времени  $t$ . Искомые решения можно получить подбором в результате многократных пробных расчетов с помощью ЭЦВМ.

Рассмотрим, например, случай нагружения свободной лежащей на упругом основании балки системой изменяющихся во времени сосредоточенных нагрузок  $P_1(t)$ ,  $P_2(t)$ ,  $P_3(t)$ , ..., приложенных соответственно в точках  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , ..., и равномерно распределенной нагрузкой от веса балки.

Решение дифференциального уравнения колебаний балки в пространстве изображений Лапласа в данном случае имеет вид

$$\begin{aligned} \bar{W}(x, s) = & \bar{W}(0, s) A(x) + \bar{\varphi}(0, s) \frac{B(x)}{2\lambda(s)} + \\ & + \frac{\bar{q}(s) [1 - A(x)]}{4\lambda^4(s) EI} + \frac{1}{4\lambda^3(s) EI} \sum_v \bar{P}_v(s) D(x - x_v), \end{aligned} \quad (1)$$

при  $x > x_v$

Последовательным дифференцированием выражения (1) могут быть найдены изображения Лапласа для изгибающего момента и перерезывающей силы

$$\begin{aligned} \bar{M}(x, s) = & -2EI\lambda^2(s) \bar{W}(0, s) C(x) - EI\lambda(s) \bar{\varphi}(0, s) D(x) + \\ & + \frac{\bar{q}(s)}{2\lambda^2(s)} C(x) + \frac{1}{2\lambda(s)} \sum_v \bar{P}_v(s) B(x - x_v); \end{aligned} \quad (2)$$

при  $x > x_v$

$$\begin{aligned} \bar{Q}(x, s) = & -2EI\lambda^3(s) \bar{W}(0, s) B(x) - 2\lambda^2(s) EI \bar{\varphi}(0, s) C(x) + \\ & + \frac{\bar{q}(s)}{2\lambda(s)} B(x) + \sum_v \bar{P}_v(s) A(x - x_v). \end{aligned} \quad (3)$$

при  $x > x_v$

Изображение Лапласа реакции основания можно найти так:

$$\bar{P}(x, s) = -\bar{W}(x, s) [K(s) + \mu s]. \quad (4)$$

В уравнениях (1) — (4) обозначено:

$$\bar{W}(0, s) = \frac{1}{2\lambda^3(s)EI} \sum_v \bar{P}_v(s) \left[ \frac{B(l-x_v)C(l) - A(l-x_v)D(l)}{2C^2(l) - B(l)D(l)} \right] -$$

$$- \frac{\bar{q}(s)(L-l)D(l) + \lambda(s)\bar{q}(s)(L-l)^2C(l)}{2C^2(l) - B(l)D(l)} + \frac{\bar{q}(s)}{4\lambda^4(s)EI};$$

$$\bar{\varphi}(0, s) = \frac{1}{2\lambda^2(s)EI} \sum_v \bar{P}_v(s) \left[ \frac{2A(l-x_v)C(l) - B(l-x_v)B(l)}{2C^2(l) - B(l)D(l)} \right] +$$

$$+ \frac{2\bar{q}(s)(L-l)C(l) - \lambda(s)\bar{q}(s)(L-l)^2B(l)}{2C^2(l) - B(l)D(l)},$$

здесь  $\bar{W}(0, s)$ ,  $\bar{\varphi}(0, s)$  — изображения Лапласа для осадки и угла поворота левого конца балки, определяемые из условий опирания концов;

$A(x)$ ,  $B(x)$ ,  $C(x)$ ,  $D(x)$  — балочные функции, определяемые обычным способом;

$P(\bar{s})$ ,  $q(s)$  — соответственно изображение Лапласа зависимости сосредоточенной и распределенной нагрузки от времени;

$K(s)$  — функция, зависящая от вида принятой модели основания, его упругих и инерционных свойств.

Решение находится в пространстве изображений, а переход к оригиналам производится численным методом А. Папулиса.

Принятая постановка задачи является приближенной, так как точка отрыва плиты от основания определяется с точностью  $\frac{1}{256}L$ .

Расчет ведется по следующей схеме. Сначала рассматривается балка длиной  $L$ . Если  $P(l) < 0$ , то имеет место отрыв от основания. В этом случае рассчитывается балка длиной  $\frac{L}{2}$ . При  $P(l) > 0$  точка отрыва находится справа от середины балки, при  $P(l) < 0$  — слева. В дальнейшем в зависимости от места нахождения точки отрыва прибавляется или вычитается половина длины рассматриваемого участка. Расчет ведется до тех пор, пока  $P(l)$  не будет равна нулю. Для полученной величины  $l(t)$  вычисляется осадка балки, реакция основания и изгибающие моменты, максимальные значения которых приведены на рис. 2 (сплошные линии). На рисунке для сравнения показаны эти же характеристики без учета явления отрыва (пунктир). Тут же нанесены опытные точки.

Анализ графика показывает, что учет явления отрыва при расчете конструкций на упругом основании приводит к удовлетворительному совпадению расчетных и опытных данных по реактивным давлениям (расхождение 14—15%). Следует отметить также, что в данном случае уменьшается отрицательный изгибающий момент. Расчетные осадки с учетом отрыва получаются значительно больше расчетных осадок без отрыва.

Изменение коэффициента постели  $C$  и коэффициента вязкости  $\mu$  в рассматриваемых пределах мало влияет на расчетные значения реактивных давлений и изгибающих моментов, поэтому расчетные графики для этих величин изображаются одной кривой.

На рис. 3 приведены графики зависимости осадки плиты от времени, прошедшего после начала нагружения с отрывом и без отрыва плиты от основания. Видно, что расчетные данные удовлетворительно схва-

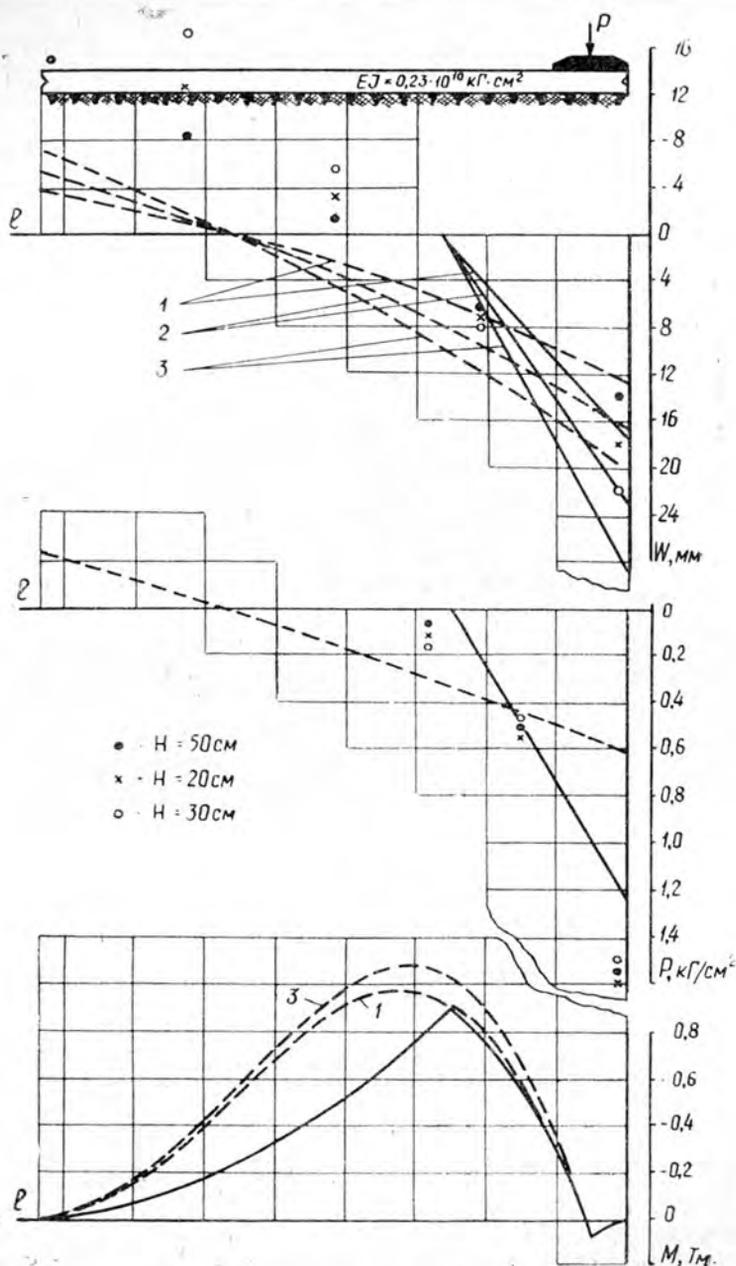


Рис. 2. Сравнение результатов расчета с отрывом и без отрыва балки от основания и опытных данных.

1 -  $C = 0,5 \text{ кг/см}^3$ ;  $\mu = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{сек/см}^3$ ;  $H = 50 \text{ см}$ ; 2 -  $C = 0,36 \text{ кг/см}^3$ ;  $\mu = 0,020 \text{ кг} \cdot \text{сек/см}^3$ ;  $H = 30 \text{ см}$ ; 3 -  $C = 0,3 \text{ кг/см}^3$ ;  $\mu = 0,015 \text{ кг} \cdot \text{сек/см}^3$ ;  $H = 20 \text{ см}$ .

дятся с опытными. Если явления отрыва не учитывать, то расчетные осадки плит получаются меньшими по сравнению с действительными, что влечет за собой снижение требований к основаниям kolejных по-

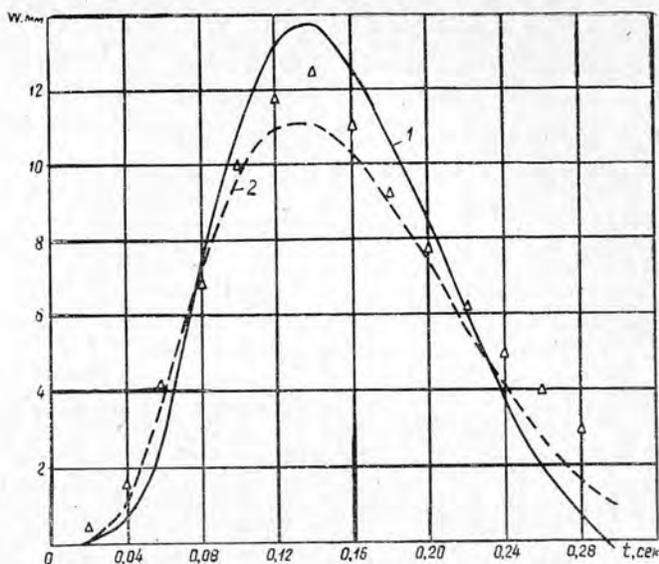


Рис. 3. Зависимость осадки под силой от времени нагружения.

1 — при односторонней связи с основанием; 2 — при двусторонней связи с основанием.

крытий из железобетонных плит, тем более, что в этом случае и расчетные реактивные давления значительно ниже опытных.

При расчете плит колейных покрытий с учетом явления отрыва необходимо принимать во внимание, что плита в процессе эксплуатации «прилипает» к основанию и для ее отрыва требуется приложить гораздо большую силу. Так, по данным Н. И. Скрипова [2], для отрыва от основания плиты весом 750 кг требовалась сила 1335 кг (среднее из 16 замеров). Особенно важно учитывать «прилипание» при расчете плит в динамике ввиду кратковременности действия нагрузки.

Исходя из сказанного, погонную нагрузку от веса плиты в расчете принимали не 3 кг/пог. см, а 5,5 кг/пог. см. Инерция оторвавшейся части балки учитывается при нахождении точки отрыва.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. А. Афендульев. К расчету балок на упругом основании при односторонней связи с основанием. Журн. «Строительная механика и расчет сооружений» № 4, 1963. [2]. Н. И. Скрипов, Л. Е. Савин. Отчет по теме «Исследование железобетонных колесопроводов автомобильных лесовозных дорог». Архангельск, 1958. [3]. Б. В. Уваров. О расчете переносных железобетонных плит. Труды АЛТИ, вып. XIX, 1967. [4]. Б. В. Уваров, Р. Л. Коровкин. Расчет балок на упругом основании, работающих в условиях динамического нагружения. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1970.

Поступила 7 мая 1974 г.

УДК 65.011.54 : 634.0.378.3

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ  
МЕХАНИЗАЦИИ РАБОТ НА СПЛАВНЫХ РЕИДАХ**

Н. Т. ЗАЙЦЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Рассмотрены основные условия производительной работы сортировочных машин на базе продольных и поперечных транспортеров, сплотовых машин и агрегатных машин — сортировочно-сплотовых агрегатов. Показано, что объединение в одну агрегатную машину сортировочной и сплотовой частей нецелесообразно, так как сплотовая часть оказывается сильно недогруженной. Большой экономический эффект достигается при системе, состоящей из разделительной сортировочной, учетно-сплотовой и учетно-затапливающей машин.

На сплаве многие годы изыскиваются схемы сортировочных и сплотовых машин и сортировочно-сплотовых агрегатов, которые обеспечивали бы производительность не менее 3000 м<sup>3</sup>/см., соответствующую устойчивой пропускной способности одних ворот запани.

Рассмотрим кратко основные показатели указанных машин.

*Сортировочная машина на базе продольных транспортеров*

В принципе производительность такой машины легко может достигнуть 3000 м<sup>3</sup>/см. и более, если установить 6—8 транспортеров. Однако если все транспортеры расположить рядом, нарушается их нормальное питание, и производительность резко падает.

Выходом из этого затруднения является предварительное разделение потока леса на 2—3 в зависимости от длины бревен или установка машины, которая автоматически будет разделять общий поток по числу транспортеров.

Важный критерий применимости сортировочной машины — время, отводимое оператору для оценки бревна. На продольном транспортере оно находится в пределах 4—10 сек. Такой темп оценки укладывается в психические возможности человека. При значительном напряжении оператор может оценить бревно на движущемся транспортере примерно за 2 сек [5].

Достоинством сортировки леса на продольных транспортерах является надежная безостановочная работа. Действительно, если один транспортер вынужденно остановится, то другие будут продолжать работу.

Известна полуавтоматическая сортировка бревен (с помощью оператора). Но можно сортировать бревна автоматически и без оператора по размерным признакам (длине, диаметру) [1], [2]. Необходимая для такой сортировки разделка хлыстов, при которой, например, длина будет определять все их качества, вполне укладывается в 12—15 длин и требует лишь некоторой перестановки упоров в ПЛХ-ЗАС. Тогда на

сортировочных линиях удобно применить локальные автоматы с 3—4 фотопарами. Для повышения надежности работы фотопар их светоприемники освещаются только при прохождении сортирента, который должен быть сброшен в данный карман, с помощью специального включателя подсветок в виде рамки над транспортером на сбросном месте; чтобы не допустить оседания росы, светоприемники в прохладное время немного подогревают электроподогревателями, а во избежание попадания прямого или отраженного солнечного света над транспортером устанавливают навес или тент. Последний необходим также для защиты транспортера и оборудования и удобства ухода за ним.

Средства автоматики в локальных автоматах проще, дешевле и надежнее, чем при полуавтоматической сортировке. Кроме того, простейшие монтажные схемы позволяют легче обнаружить и устранить неисправность, вызвавшую отказ, чем в сложных системах слежения и запоминания.

### *Сортировочная машина на базе поперечного транспортера*

В процессе сортировки на таких машинах лес перемещается либо по воде, либо поднимается по направляющим.

При сменной производительности 3000 м<sup>3</sup> и объеме среднего бревна 0,2 м<sup>3</sup> перед глазами оператора пройдет 15 000 бревен за смену. Продолжительность рабочего времени с учетом возможных простоев, оцениваемых коэффициентом использования, примерно равным 0,8, при 7-часовой смене составит 20 160 сек. Тогда время оценки будет всего 1,3 сек на бревно. Оператор не выдержит такого напряжения. Рабочие, подающие по одному бревну на крючья транспортера, работают также с чрезмерным напряжением.

Для достижения приемлемого времени оценки бревна необходимо разделить весь поток леса, идущий из одних ворот, на два и применить две сортировочные машины. В таком случае условия работы оператора приближаются к нормальным, но все же требуется частая его подмена вторым оператором.

Однако и в этом случае на каждом потоке работает один поперечный транспортер. При его поломке работа приостанавливается. Следовательно, работа по этой схеме мало надежна.

Сортировка на поперечном транспортере труднее, чем на продольном, и требует сложных дополнительных устройств. При сортировке на воде дополнительные трудности возникают при бошечной подаче бревен под транспортер и, кроме того, обзор сортирента оператором ухудшается. Сортировка бревен по размерным признакам на поперечных транспортерах труднее. Таким образом, по надежности в работе и простоте конструкции предпочтительнее применять сортировочные машины с продольными транспортерами.

Общий поток леса, поступающего на сортировочную машину продольной щетью, не обеспечивает равномерной загрузки каждого транспортера. Возникает необходимость делить поток леса на мелкие по числу транспортеров или группировать транспортеры по 2—3 на отдельных машинах, а общий поток делить на потоки по числу машин.

Из сказанного следует, что наиболее выгоден вариант сортировки бревен по размерным признакам на машине с 8 продольными транспортерами, но с применением специальной разделительной машины.

### Сплоточные машины

Производительность циклических машин, применяемых в настоящее время на сплотке озерных пучков, не достигает  $3000 \text{ м}^3/\text{см.}$ , поэтому приходится ставить две машины.

Большую производительность можно получить на машине непрерывного действия. Пока таких машин нет. Принцип непрерывности наиболее легко достигается при формировании пучка в жесткой люльке и поштучном навале бревен. Однако производительность сильно снижается из-за перекосов бревен, падающих в люльку, и вынужденных остатков. Такой способ формирования наименее энергоемок и обеспечивает равномерную нагрузку на трансмиссию.

Этот способ применяется в сплоточной части рейдового комбината ЛР-33, разрабатываемого ЦНИИЛесосплава. Особенность люльки заключается в том, что ее кривые стойки внизу соединены шарнирно: одна закреплена стационарно, а другая гидроцилиндром приводится в движение и совершает несколько качаний за время формирования пучка. Путем качаний бревна выравниваются. В начале формирования при надвигании стоек на бревна требуются небольшие усилия, затем они увеличиваются и в конце формирования, когда люлька заполнена лесом, поджатие достигает максимума.

Таким образом, применив этот способ как менее энергоемкий по сравнению с другими, в результате опять пришли к весьма энергоемкому решению.

В ЛТА предложен способ формирования пучка в жесткой люльке [3]. Его особенность — каплеобразная форма люльки с раздвигающимися поочередно от середины шторками, несколько расходящимися книзу.

Шторки выполняют тройную роль: позволяют заполнить нижнюю часть люльки лесом, при сравнительно малой передаче веса пучка на стойки. Бревна, заполняя щель между шторками, проникают до низа люльки и там сохраняются даже при постепенном их раздвижении; уменьшают ширину раскатывания бревен при их укладке на ранее поступившие в люльку бревна; позволяют уменьшить высоту падения бревен и автоматически поддерживать ее в пределах одного-полутора диаметров бревен, что достигается автоматически. Поступившее бревно затеняет фотоспротивление. Это является сигналом к раздвижению, которое будет продолжаться до тех пор, пока бревно из-за раздвижения шторок не осядет и уже не будет пересекать луч.

Бревна направляются в люльку подающим транспортером почти плотной щетью (по 2—3 бревна между крюками малой высоты). Она наполняется так интенсивно, что одно бревно находится вблизи другого, и это препятствует свободному прокату каждого бревна по ранее поступившим и способствует более правильной укладке бревен. Полная непрерывность работы достигается последовательным расположением двух люлек и установкой над ними скребкового транспортера. Производительность такой сплоточной машины достигает  $4000 \text{ м}^3/\text{см.}$

### Сортировочно-сплоточные агрегаты

Производительность сплоточной машины может быть значительно больше, чем у сортировочной. Объединение их в одну приводит к чрезвычайно низкому использованию сплоточной части агрегатной машины. Поток леса в любой сортировочной машине расходится по сортировочным ячейкам и имеет в каждой ячейке объем в 10—20 раз меньше, чем общий объем леса, перерабатываемого машиной. Встает вопрос: в каж-

дой ячейке ставить на весьма голодный паек свою сплоточную машину, способную сжать крупный озерный пучок, или на обслуживание всех ячеек направить одну подвижную сплоточную машину. Чтобы не останавливать сортировочную часть во время обвязки пучка сплоточной машиной, надо в каждой люльке иметь буферный магазин.

Все известные решения по этим вопросам неприемлемы. Постановка многих сплоточных машин с малым их использованием в смену неэффективна. Эксплуатация одной подвижной сплоточной машины для обслуживания всех сортировочных ячеек технически затруднительна, так как такая машина тяжела и громоздка, и ее очень трудно перемещать к наполнившимся сплоточным люлькам.

Устройством буферных магазинов в каждой ячейке усложняет сортировочно-сплоточный узел — вся машина становится намного дороже.

Введение скользящей (дежурной, одной или двух) ячейки сильно усложняет управление сортировкой (система скользящего резерва), делает сортименты блуждающими по машине. При этом практически не устраняется возможность остановки сортировочной части.

Известно, что из ряда сложных машин или их систем наиболее эффективна та, в которой заложены принципы выполнения работ с наименьшими силами, все узлы последовательно имеют максимальную производительность и не задерживают общего потока, машины отличаются простотой и надежностью и допускают автоматизацию выполнения операций. Этим условиям удовлетворяет система, состоящая из разделительной, сортировочной, сплоточной и учетно-заталпливающей машин. В таком случае выполняется условие равенства производительности узлов системы, а поскольку каждая сортировочная машина имеет два — три или восемь продольных транспортеров, выполняется условие надежности работы. Сплоточная машина — это машина непрерывного действия (что повышает ее производительность), элеваторного типа (это позволяет применить способ формирования пучка навалом бревен в люльку и исключить большие пиковые нагрузки, что делает машину сравнительно легкой и дешевой). Автоматический учет объема леса производится в двух местах: сначала перед сплоточной люлькой учитывают вес каждого бревна и их число, а затем на отдельной машине определяют силу плавучести целого пучка [4]. По весу пучка и его плавучести находят его объем. Такой учет производят во время движения бревен, и он не сдерживает общего потока леса.

Сортировка бревен по размерным признакам вообще исключает из этой работы операторов-сортировщиков бревен.

Таким образом, объединение сортировочной и сплоточной машин в одну нецелесообразно, так как сплоточные узлы, какой бы конструкции они ни были, оказываются сильно недогруженными.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Н. Т. Зайцев. К вопросу автоматической сортировки бревен по размерным признакам. НТК ЛТА, 1971. [2]. Н. Т. Зайцев. К вопросу автоматической сортировки бревен в лесной промышленности. Научные труды ЛТА, № 145, 1972. [3]. Н. Т. Зайцев и др. Устройство для формирования сплавного пучка. Авторское свидетельство № 197440, 1966. [4]. Н. Т. Зайцев и др. Система машин для учета и сплотки бревен. Авторское свидетельство № 299431, 1967. [5]. В. А. Щербakov. Оценка времени реакции оператора при сортировке бревен на конвейерах. Труды ЦНИИЛ, № 11, 1969.

Поступила 4 июля 1974 г.

УДК 634.0.363.5

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ДРОВОКОЛЬНОГО СТАНКА

Т. М. ШКИРЯ

Львовский лесотехнический институт

Приводится дифференциальное уравнение движения исполнительного механизма гидравлического древокольного станка с учетом математической модели процесса раскалывания, учитывающей физико-механические свойства древесины, размеры раскалываемых поленьев и геометрию клина.

Процесс раскалывания древесины гидравлическим древокольным станком будем рассматривать только в первом (главном) периоде, когда разрушаются основные связи между волокнами и сопротивление раскалыванию достигает  $P_{max}$  [3].

Приняты следующие допущения:

1) кривая усилия раскалывания аппроксимирована математической зависимостью, близкой к экспериментальной;

2) изменение момента привода станка от угловой скорости может быть описано упрощенным уравнением механической характеристики электродвигателя;

3) инерционные звенья считают абсолютно жесткими, приведенная расчетная схема — одномассовая система;

4) так как объемный и эффективный к. п. д. гидропривода изменяются незначительно при заданных скоростях рабочего хода, то они практически не зависят от колебания скорости вращения ротора насоса и давления нагнетания; сопротивление сливной магистрали отдельно не учитывается.

Приводя массу узлов, силу давления жидкости и силу сопротивления раскалыванию к поршню исполнительного механизма гидравлического древокольного станка, его дифференциальное уравнение движения с учетом принятых допущений можно записать в следующем виде [2]:

$$m \frac{d^2l}{dt^2} + H \frac{dl}{dt} = P_m - P_c, \quad (1)$$

где  $m$  — масса якоря двигателя, ротора насоса, поршня и соединенных с ним частей и масса рабочей жидкости в соединительных трубопроводах и цилиндре;

$H$  — коэффициент вязкого трения поршня, соединенных с ним частей и рабочей жидкости;

$l$  — перемещение поршня исполнительного механизма;

$P_m$  — сила давления жидкости на поршень;

$P_c$  — сила сопротивления раскалыванию.

Массу  $m$  в уравнениях (1) можно представить в виде двух составляющих: массы якоря двигателя, ротора лопастного насоса, поршня исполнительного механизма и приведенной к поршню массы связанных с ним частей  $m_1$ , и массы рабочей жидкости  $m_2$ , заполняющей соединительные трубопроводы и цилиндр исполнительного механизма, которая составляет [2]

$$m_2 = F^2 \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{L}{f_T} + F \frac{\gamma}{g} L, \quad (2)$$

где  $F$  — площадь поршня исполнительного механизма;  
 $\gamma$  — удельный вес рабочей жидкости;  
 $g$  — ускорение свободно падающего тела;  
 $L$  — общая длина соединительных линий;  
 $f_T$  — площадь поперечного сечения соединительного трубопровода.

Приведенную к поршню силу давления жидкости на него, выраженную при помощи упрощенного уравнения механической характеристики [4], после некоторых преобразований можно записать в следующем виде:

$$P_M = \frac{2\pi F \eta_{\text{э}}}{q \eta_0} \left\{ \frac{2M_K s_K \omega_0^2}{s_K^2 + \left( \omega_0 - \frac{2\pi F \eta_{\text{э}}}{q \eta_0} \cdot \frac{dl}{dt} \right)^2} - \frac{2M_K s_K \omega_0 2\pi F \eta_{\text{э}}}{q \eta_0 \left[ s_K^2 + \left( \omega_0 - \frac{2\pi F \eta_{\text{э}}}{q \eta_0} \cdot \frac{dl}{dt} \right)^2 \right]} \cdot \frac{dl}{dt} \right\}, \quad (3)$$

где  $q$  — рабочий объем насоса;  
 $\eta_{\text{э}}, \eta_0$  — эффективный и объемный к. п. д. насоса;  
 $M_K$  — максимальный момент электродвигателя;  
 $s_K$  — скольжение электродвигателя при максимальном моменте;  
 $\omega_0$  — синхронная угловая скорость вала электродвигателя.

Математическая модель процесса раскалывания, учитывающая физико-механические свойства древесины, размеры раскалываемых поленьев, геометрию и конструкцию клина, для первого периода имеет следующий вид [4]:

$$P_C = \frac{f \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} \left[ \frac{\sin \alpha}{\cos \arctg \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}} + 1 \right] \frac{2\sigma_0 b}{1 + \left( \frac{\sigma_0}{\sigma_{90}} - 1 \right) \cos^2 \alpha} \cdot l, \quad (4)$$

где  $\sigma_0, \sigma_{90}$  — предел прочности на сжатие поперек и вдоль волокон;  
 $b$  — ширина образца;  
 $\alpha$  — половина угла заострения раскалывающего клина;  
 $f$  — коэффициент трения между щекой клина и древесиной;  
 $l$  — текущее значение глубины внедрения клина в чурак.

Воспользовавшись формулами (3), (4), запишем уравнение (1) в виде

$$\begin{aligned} & (m_1 + m_2 l) \frac{d^2 l}{dt^2} + \left\{ H + \frac{8\pi^2 F^2 \eta_{\text{э}}^2 M_K s_K \omega_0}{q^2 \eta_0^2 \left[ s_K^2 + \left( \omega_0 - \frac{2\pi F \eta_{\text{э}}}{q \eta_0} \cdot \frac{dl}{dt} \right)^2 \right]} \right\} \frac{dl}{dt} + \\ & + \frac{f \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} \left[ \frac{\sin \alpha}{\cos \arctg \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}} + 1 \right] \cdot \frac{2\sigma_0 b}{1 + \left( \frac{\sigma_0}{\sigma_{90}} - 1 \right) \cos^2 \alpha} \cdot l - \\ & - \frac{4\pi F \eta_{\text{э}} M_K s_K \omega_0^2}{q \eta_0 \left[ s_K^2 + \left( \omega_0 - \frac{2\pi F \eta_{\text{э}}}{q \eta_0} \cdot \frac{dl}{dt} \right)^2 \right]} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Приводя уравнение (5) к общему знаменателю и сгруппировав его члены по соответствующим переменным, получим

$$\begin{aligned}
 & a_1 \frac{d^2 l}{dt^2} + a_2 \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 \frac{d^2 l}{dt^2} + a_3 \frac{dl}{dt} \cdot \frac{d^2 l}{dt^2} + a_4 l \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 \frac{d^2 l}{dt^2} + \\
 & + a_5 l \frac{dl}{dt} \cdot \frac{d^2 l}{dt^2} + a_6 l \frac{d^2 l}{dt^2} + a_7 \frac{dl}{dt} + a_8 \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 + a_9 l \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 + \\
 & + a_{10} l \frac{dl}{dt} + a_{11} \left( \frac{dl}{dt} \right)^3 + a_{12} l = f.
 \end{aligned} \quad (6)$$

В этом выражении

$$a_1 = m_1 q^2 \eta_0^2 (s_k^2 + \omega_0^2);$$

$$a_2 = 4m_1 \pi^2 F^2 \eta_3^2;$$

$$a_3 = -4m_1 \pi F \eta_3 q \eta_0;$$

$$a_4 = 4m_1 \pi^2 F^2 \eta_3^2;$$

$$a_5 = -4m_2 \pi F \eta_3 q \eta_0;$$

$$a_6 = m_2 q^2 \eta_0^2 (s_k^2 + \omega_0^2);$$

$$a_7 = H q^2 \eta_0^2 (s_k^2 + \omega_0^2) + 8\pi^2 F^2 \eta_3^2 M_k s_k \omega_0;$$

$$a_8 = -4H\pi F \eta_3 q \eta_0;$$

$$a_9 = \frac{8\sigma_0 b \pi^2 F^2 \eta_3^2}{1 + \left( \frac{\sigma_0}{\sigma_{90}} - 1 \right) \cos^2 \alpha} \left[ 1 + \frac{\sin \alpha}{\cos \arctg \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}} \right] \cdot \frac{f \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha};$$

$$a_{10} = \frac{8\sigma_0 b \pi q \eta_3 F q \eta_0}{1 + \left( \frac{\sigma_0}{\sigma_{90}} - 1 \right) \cos^2 \alpha} \left[ 1 + \frac{\sin \alpha}{\cos \arctg \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}} \right] \cdot \frac{f \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha};$$

$$a_{11} = 4H\pi^2 F^2 \eta_3^2;$$

$$a_{12} = \frac{8\sigma_0 b q^2 \eta_0^2 (s_k^2 + \omega_0^2)}{1 + \left( \frac{\sigma_0 - 1}{\sigma_{90}} - 1 \right) \cos^2 \alpha} \left[ 1 + \frac{\sin \alpha}{\cos \arctg \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}} \right] \cdot \frac{f \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha};$$

$$f = 4\pi F \eta_3 M_k s_k \omega_0^2.$$

Дифференциальное уравнение (6) может быть решено одним из приближенных методов, например, методом интегрирования при помощи степенных рядов [1]. Подставив начальные условия процесса раскалывания  $(t)_0 = 0$ ,  $(l)_0 = 0$  (ось координат совмещаем с началом процесса раскалывания) и  $\left( \frac{dl}{dt} \right)_0 = \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3}$  в уравнение (5), получим

$$\begin{aligned}
 & \left[ a_1 + a_2 \left( \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3} \right)^2 + a_3 \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3} \right] \left( \frac{d^2 l}{dt^2} \right)_0 + \left[ a_7 + a_8 \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3} + \right. \\
 & \left. + a_{11} \left( \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3} \right)^2 \right] \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3} = f,
 \end{aligned} \quad (7)$$

откуда

$$\left( \frac{d^2 l}{dt^2} \right)_0 = - \frac{\left[ a_7 - a_8 \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3} + a_{11} \left( \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3} \right)^2 \right] \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3}}{a_1 + a_2 \left( \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3} \right)^2 + a_3 \frac{\omega_0 q \eta_0}{2\pi F \eta_3}} = A. \quad (8)$$

Дифференцируя уравнение (6) и подставляя начальные условия первого периода, имеем

$$\left(\frac{d^3 l}{dt^3}\right)_0 = - \frac{1}{a_1 + a_2 \left(\frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}\right)^2 + a_3 \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}} \left\{ \left(2a_2 \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} + a_3\right) A^2 + \right. \\ \left. + \left[ a_4 \left(\frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}\right)^2 + a_5 \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} + a_6 \right] \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} A + \left[ a_7 + \left(2a_8 + \right. \right. \right. \\ \left. \left. + 3a_{11} \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}\right) \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} \right] A + \left[ a_9 \left(\frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}\right)^2 + a_{10} \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} + a_{12} \right] \right\} = B. \quad (9)$$

В дальнейшем ход решения повторяется; количество приближений определяется необходимой точностью расчета. Значения производных, начиная от 4-й степени, то есть для  $n \geq 4$ , можно получить по формуле

$$\left(\frac{d^n l}{dt^n}\right)_0 = - \frac{1}{a_1 + \left(a_2 \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} + a_3\right) \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}} \left\{ \left[ a_2 (n+2) \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} + \right. \right. \\ \left. \left. + a_2 (n-2) \right] \left(\frac{d^2 l}{dt^2}\right)_0 \cdot \left(\frac{d^{n-1} l}{dt^{n-1}}\right)_0 + \left[ a_4 (n-2) \left(\frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}\right)^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + a_5 \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} + a_6 \right] \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} \left(\frac{d^{n-1} l}{dt^{n-1}}\right)_0 + \left[ a_2 (n-2) (n-3) \left(\frac{d^2 l}{dt^2}\right)_0 + \right. \right. \\ \left. \left. + a_4 (3n-11) (n-1) \left(\frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}\right)^2 + \frac{3}{2} a_5 (n-2) (n-3) \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} + \right. \right. \\ \left. \left. + a_6 \frac{(n-2)(n-3)}{2} \right] \left(\frac{d^2 l}{dt^2}\right)_0 \left(\frac{d^{n-2} l}{dt^{n-2}}\right)_0 + \left[ a_2 (n-2) (n-3) \left(\frac{d^2 l}{dt^2}\right)_0 + \right. \right. \\ \left. \left. + (2a_4 n (n-3) - 5) \left(\frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}\right)^2 + \frac{3}{2} a_4 (n-2) (n-3) \left(\frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}\right) + \right. \right. \\ \left. \left. + a_6 \frac{(n-2)(n-3)}{2} \right] \left(\frac{d^2 l}{dt^2}\right)_0 \left(\frac{d^{n-2} l}{dt^{n-2}}\right)_0 + \left[ a_7 + 2a_8 \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} + \right. \right. \\ \left. \left. + 3a_{11} \left(\frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}\right)^2 \right] \left(\frac{d^{n-2} l}{dt^{n-2}}\right)_0 + \left[ 2a_8 \left(\frac{d^{n-2} l}{dt^{n-2}}\right)_0 + a_9 (2n + \right. \right. \\ \left. \left. + 2) \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} \left(\frac{d^{n-3} l}{dt^{n-3}}\right)_0 + 3a_{10} \left(\frac{d^{n-3} l}{dt^{n-3}}\right)_0 + 6a_{11} \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9} \left(\frac{d^{n-2} l}{dt^{n-2}}\right)_0 \right] \times \\ \left. \left. \times \left(\frac{d^2 l}{dt^2}\right)_0 + a_{12} \left(\frac{d^{n-2} l}{dt^{n-2}}\right)_0 \right\}. \quad (10)$$

Искомое решение уравнения (6) можно записать по формуле Тейлора в виде следующего степенного ряда:

$$l = \frac{1}{1!} \left(\frac{dl}{dt}\right)_0 t + \frac{1}{2!} \left(\frac{d^2 l}{dt^2}\right)_0 t^2 + \frac{1}{3!} \left(\frac{d^3 l}{dt^3}\right)_0 t^3 + \dots + \frac{1}{n!} \left(\frac{d^n l}{dt^n}\right)_0 t^n. \quad (11)$$

Дифференцируя уравнение (11) по времени с учетом того, что  $\omega = \frac{2\pi F \gamma_9}{q \gamma_0} \cdot \frac{dl}{dt}$ , получим

$$\omega_1 = \frac{2\pi F \gamma_9}{q \gamma_0} \left[ \left(\frac{dl}{dt}\right)_0 + \frac{1}{1!} \left(\frac{d^2 l}{dt^2}\right)_0 t + \frac{1}{2!} \left(\frac{d^3 l}{dt^3}\right)_0 t^2 + \frac{1}{3!} \left(\frac{d^4 l}{dt^4}\right)_0 t^3 + \dots + \right. \\ \left. + \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{d^n l}{dt^n}\right)_0 t^{n-1} \right]. \quad (12)$$

Уравнение (12) связывает параметры гидравлического древокольного станка ( $M_k$ ,  $\omega_0$ ,  $s_k$ ,  $F$ ,  $f_T$ ,  $l$ ,  $q$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_9$ ,  $\gamma_0$ ), обрабатываемого материала ( $\sigma_0$ ,  $\sigma_{90}$ ,  $b$ ,  $f$ ) и угол заострения раскалывающего клина  $\alpha$ .

Решая его на ЭВМ, можно:

- а) рассчитать наибольшее усилие раскалывания;
- б) выбрать электродвигатель с оптимальной механической характеристикой, способный развивать необходимое усилие раскалывания при минимальной мощности привода;
- в) проанализировать влияние изменения отдельных параметров пресса (скорости надвигания кряжа на клин, силы инерции вращающихся и поступательно движущихся элементов станка, скольжения ротора электродвигателя при максимальном моменте и др.) на величину создаваемого им усилия раскалывания.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. И. Я. Виленикин. Метод последовательных приближений. Изд-во «Наука», М., 1968. [2]. И. М. Крассов. Гидравлические элементы в системах управления. Изд-во «Машиностроение», М., 1967. [3]. Т. М. Шкиря. Приближенный метод расчета динамических нагружений гидравлического древокольного станка. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1972. [4]. Т. М. Шкиря, А. И. Сопотун. О влиянии угла заострения клина на усилие первоначального его внедрения в древесину. Сб. «Лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность», вып. 9, изд-во «Будівельник», Киев, 1972.

Поступила 5 апреля 1974 г.

УДК 691.54

### ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ НА ПРОЦЕССЫ ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТА

И. И. ЛИШТВАН

Калининский политехнический институт

Н. П. КОВАЛЕНКО, Г. А. ЕВСЕЕВ, И. М. БОХОВКИН

Архангельский лесотехнический институт

Приведены результаты исследований влияния гуминовой и фульвово́й кислот, а также танина на процессы твердения клинкерных минералов и цемента. Установлено, что фульвокислота ускоряет процессы твердения цемента, а гуминовая кислота и танин замедляют, причем положительное действие фульвокислоты перекрывается отрицательным действием гуминовой кислоты и танина. При необходимости грунты с органическими примесями могут быть закреплены цементом.

В закрепляемых грунтах часто присутствуют различные органические примеси. Из них наиболее распространены кислоты: высокомолекулярные (гуминовая и фульвовая) и низкомолекулярные (щавелевая, янтарная, молочная, лимонная, фумаровая), а также таниды. Их количественные соотношения зависят от многих факторов и колеблются в широких пределах [3]. Наибольшее количество органических веществ содержится в грунтах, расположенных на территориях лесов и болот. Так, например, в исследованной нами супеси, залегающей в непосредственной близости к торфяной залежи, общее количество органических веществ составило 6,08% (гуминовые кислоты — 3,42%, фульвокислоты — 2,64%), причем на углерод низкомолекулярных кислот приходится до 6% общего содержания углерода органических веществ. В связи с этим представляет большой интерес исследование влияния указанных органических веществ на процессы твердения цемента.

Учитывая, что концентрации низкомолекулярных кислот в закрепляемых грунтах невелики, в нашей работе в качестве органических

добавок были использованы гуминовые и фульвовые кислоты, полученные по методике М. И. Кононовой [1], а также химически чистый таннин.

Процессы гидратации цемента при закреплении грунтов, содержащих органические примеси, более полно можно представить, изучив влияние этих веществ на процессы гидратации отдельных клинкерных минералов полиминерального вяжущего портландцемента.

Для исследований были взяты минералы:  $C_2S$  (двухкальциевый силикат),  $C_3S$  (трехкальциевый силикат) и  $C_3A$  (трехкальциевый алюминат), а также портландцемент марки «400» Савинского цементного завода со следующим минералогическим составом:  $C_2S$  — 16,88%,  $C_3S$  — 60,52%,  $C_3A$  — 4,82%,  $C_4AF$  — 14,59%. Химический состав клинкера:  $SiO_2$  — 21,82%,  $Al_2O_3$  — 4,89%,  $Fe_2O_3$  — 4,80%,  $CaO$  — 65,35%,  $MgO$  — 2%,  $SO_3$  — 0,56%.

Минералы затворяли дистиллированной водой и одновременно вводили различные количества органических веществ. Концентрация минерала во всех случаях принята 4 г/л [4]. Концентрация органических веществ изменялась в широких пределах и соответствовала наибольшим и наименьшим концентрациям их в естественных условиях. Так, для гуминовых и фульвовых кислот она составила 60; 300 и 600 мг/л, а для таннина 30 и 300 мг/л. После затворения суспензию помещали в герметически закрытые колбы с целью устранения влияния углекислоты воздуха на процессы гидратации. Колбы периодически взбалтывали. Через различные сроки гидратации отбирали пробы, в растворе которых определяли количество ионов кальция и алюминия, а также рН фильтрата.

В табл. 1 представлено количество ионов кальция в процентах для минералов  $C_2S$  и  $C_3S$ , гидратированных в присутствии органических веществ различной концентрации. За 100% принято количество ионов кальция при гидратации в дистиллированной воде.

Таблица 1

Добавка	Концентрация добавки, мг/л	Количество ионов кальция, %, в зависимости от времени гидратации, час					
		0, 16	1	3	24	72	168
Гуминовая кислота	60	120	116	161	161	188	140
		26	50	54	37	41	68
	300	70	56	100	100	87	80
		33	26	35	21	23	47
	600	52	42	75	75	63	60
		26	22	25	16	26	27
Фульвокислота	60	500	415	575	645	645	540
		218	225	200	158	188	316
	300	260	233	400	400	425	360
		133	142	161	147	194	316
	600	100	100	150	200	176	190
		75	92	108	105	159	200
Таннин	30	66	90	220	133	72	130
		47	77	—	146	53	62
	300	25	27	86	159	105	213
		15	41	—	147	53	62

Примечание. В числителе данные для минерала  $C_2S$ ; в знаменателе — для минерала  $C_3S$ .

При гидратации двухкальциевого силиката количество ионов кальция в растворе незначительно ввиду слабой растворимости этого минерала. Введение с водой затворения гуминовой кислоты с концентрацией 60 мг/л приводит к увеличению количества ионов кальция в растворе (табл. 1), что можно объяснить пептизирующим действием гуминовой кислоты на двухкальциевый силикат и увеличивающейся удельной поверхностью минерала.

Повышение концентрации добавки приводит, наоборот, к снижению количества ионов кальция в растворе. Так, при концентрации гуминовой кислоты 300 мг/л количество ионов кальция в растворе может уменьшиться на 20—40%, а при концентрации добавки 600 мг/л — до 50% в сравнении с минералом, гидратированным без добавок. Это, очевидно, связано с образованием ассоциатов макромолекул гуминовых кислот и снижением их поверхностной активности. О замедлении процессов гидратации свидетельствует и низкое значение рН раствора (5,5—7,1); для минерала, гидратированного без добавок,  $\text{pH} = 9,1 \div 10,6$ . Снижению скорости гидратации минерала в присутствии гуминовых кислот способствует образование гуматов кальция, способных адсорбироваться на поверхности зерен минерала и новообразований. Содержание ионов кальция в растворе уменьшается также вследствие связывания ионов с активными группами гуминовых кислот.

При введении в воду затворения фульвової кислоты с концентрацией 60 мг/л количество ионов кальция в растворе возрастает в 5 раз и более. Добавки 300 и 600 мг/л приводят к увеличению количества ионов кальция в среднем в 1,5—3 раза.

Механизм действия фульвокислот на процесс гидратации минерала аналогичен действию гуминовых кислот. При этом активность фульвокислот выше в связи с большей их растворимостью.

Добавки танина снижают количество ионов кальция в растворе в ранние сроки, а в более поздние сроки их количество, наоборот, увеличивается по сравнению с минералом, гидратированным в дистиллированной воде. Это объясняется тем, что, образуя коллоидные растворы, танины способны оказывать пептизирующее действие на минералы портландцементного клинкера. Диапазон изменения рН в этом случае составляет 7,55—10,4.

Введение гуминовой кислоты в качестве добавки при затворении минерала  $\text{C}_3\text{S}$  приводит к снижению количества ионов кальция в растворе в сравнении с минералом, гидратированным без добавки. Количество ионов кальция уменьшается в 2—5 раз, причем тем заметнее, чем выше концентрация вводимой гуминовой кислоты.

Как и для минерала  $\text{C}_2\text{S}$ , гуминовая кислота в данном случае способствует замедлению процессов гидратации за счет адсорбции ее макромолекул на поверхности негидратированных частиц и новообразований минерала. Напротив, фульвокислота способствует увеличению ионов кальция в растворе, причем низкие концентрации фульвокислоты более эффективны вследствие их высокой поверхностной активности. Механизм действия танина на минерал  $\text{C}_3\text{A}$  аналогичен действию его на минерал  $\text{C}_2\text{S}$ . Диапазон изменения рН составил 7,85—11,86.

В табл. 2 показано относительное количество ионов кальция и алюминия для минерала  $\text{C}_3\text{A}$ , гидратированного в присутствии органических веществ. За 100% принято количество ионов, выделяющихся в раствор при гидратации минерала в дистиллированной воде. Как видно из таблицы, добавки гуминовой кислоты к воде затворения при гидратации трехкальциевого алюмината уменьшают количество ионов кальция в растворе в 2—6 раз во все сроки твердения, а количество ионов алюминия увеличивается в 1,5—4 раза в сравнении с минералом, гидра-

Таблица 2

Добавка	Концентрация добавки, мг/л	Количество ионов кальция (числитель) и алюминия (знаменатель), %, в зависимости от времени гидратации, час					
		0,16	1	3	24	72	168
Гуминовая кислота	60	46	44	50	43	33	22
		78	222	391	216	391	410
	300	31	28	37	30	22	22
		—	179	484	218	312	329
	600	23	24	26	24	20	16
		—	68	484	218	156	329
Фульвокислота	60	123	182	127	117	109	162
		160	—	100	65	—	84
	300	77	87	105	91	103	103
		78	34	80	245	314	65
	600	54	62	74	97	100	73
		194	62	175	107	109	100
Таннин	30	74	74	64	75	113	87
		310	124	126	205	125	156
	300	84	69	68	85	102	83
		350	120	121	190	159	163

тированным без добавки. Избыток ионов алюминия по сравнению с количеством ионов  $\text{Ca}^{2+}$  может привести к образованию алюмосиликагеля. Совместно с гуминовой кислотой алюмосиликагель способен образовать плотное адсорбционное покрытие частиц цементного клинкера, тем самым замедлить процессы гидратации. Однако небольшие добавки фульвокислоты дают увеличение количества ионов кальция в растворе. Повышение же добавки фульвокислоты снижает количество ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в растворе только в ранние сроки. В то же время количество ионов алюминия в растворе обычно уменьшается и только в некоторых случаях увеличивается по сравнению с минералом, гидратированным без добавок.

Таннин, взаимодействуя с минералом  $\text{C}_3\text{A}$ , уменьшает количество ионов кальция в растворе и одновременно увеличивает количество ионов алюминия. В то же время продукты реакции и сами таннины способны осаждаться на поверхности негидратированных зерен и новообразований, что приводит к замедлению процессов гидратации. При взаимодействии таннина с  $\text{C}_3\text{A}$  образуется рыхлый осадок, на фильтре, кроме этого, осаждаются гель желтого цвета, фильтрат же бесцветен. Очевидно, на геле гидрата окиси алюминия адсорбируются коллоиды таннина, что придает осадку желтый цвет. Диапазон изменения pH для  $\text{C}_3\text{A}$  составил в этом случае 10,6—11,16.

Из сказанного можно сделать вывод, что реакционная способность минералов к взаимодействию с растворами органических кислот и таннина возрастает по ряду:  $\text{C}_2\text{S} \rightarrow \text{C}_3\text{S} \rightarrow \text{C}_3\text{A}$ .

Для расшифровки влияния органических веществ на кинетику твердения цемента было определено предельное сопротивление сдвигу цементного теста с добавками гуминовых, фульвовых кислот, а также таннина. Результаты представлены на рис. 1. Как видно из рисунка, добавка гуминовой кислоты и таннина резко уменьшает предельное сопротивление цементного теста сдвигу, а добавка фульвовой кислоты, напротив, несколько увеличивает его. Однако отрицательное влияние гуминовой кислоты и таннина столь значительно, что пере-

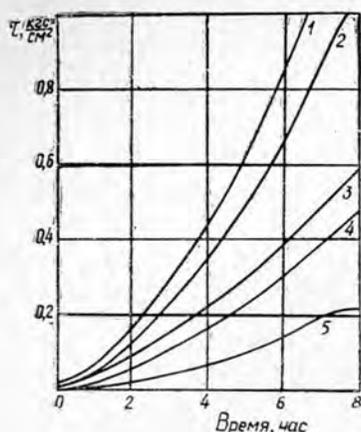


Рис. 1. Зависимость предельного сопротивления цементного теста сдвигу от времени и вида добавок.

1 — цементное тесто с добавкой фульвокислоты 0,0615% от веса цемента; 2 — цементное тесто, затворенное на водопроводной воде; 3 — цементное тесто с добавкой таннина 0,5% от веса цемента; 4 — цементное тесто, затворенное торфяной водой; 5 — цементное тесто с добавкой гуминовой кислоты 0,0615% от веса цемента.

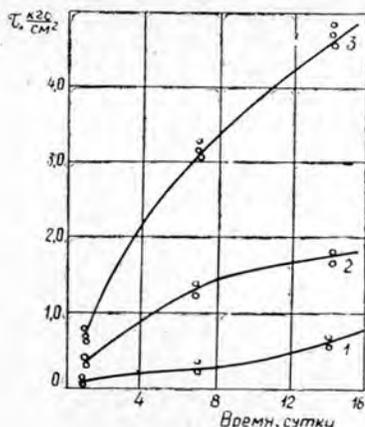


Рис. 2. Зависимость предельного сопротивления сдвигу закрепленного торфа от времени.

1 — диаметр частиц менее 0,25 мм; 2 — 0,25 — 1 мм; 3 — более 1 мм.

крывает положительный эффект, вызываемый фульвокислотой. Это подтверждается тем, что торфяная вода, использованная для затворения цемента, снижает предельное сопротивление цементного теста сдвигу примерно в 2,5 раза.

Большое количество указанных органических веществ содержится в торфяных грунтах, причем с увеличением степени разложения последних повышается и доля гуминовых кислот [2]. Поэтому определенный интерес представляет выявление зависимости изменения прочности торфяного грунта, смешанного с цементом, при различной степени дисперсности торфа. На рис. 2 представлена зависимость изменения предельного сопротивления сдвигу торфяного грунта, смешанного с цементом. Расход цемента 400 кг на 1 м<sup>3</sup> торфа. Как видно, с увеличением степени дисперсности предельное сопротивление сдвигу уменьшается во все сроки твердения. Конечно, снижение прочности нельзя отнести только за счет отрицательного влияния гуминовых кислот на цемент в процессе твердения, так как высокодисперсные торфяные системы имеют сильно развитую удельную поверхность, и ча-

Таблица 3

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Сопротивление сдвигу $\tau$ , кг/см <sup>2</sup> , в разные сроки твердения, сутки				
	1	3	7	10	28
0	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
100	0,14	0,28	0,28	0,29	0,56
200	0,20	0,29	0,38	0,42	0,85
300	0,21	0,42	0,71	0,83	1,6
400	0,31	0,62	1,12	1,48	2,93

стицы, между которыми возникают кристаллизационные связи, не прочны, однако, по нашему мнению, роль гуминовых кислот в этом процессе также велика.

Кроме этого, мы проводили опыты по определению прочности торфяного грунта, смешанного с цементом, при различном расходе цемента и в разные сроки твердения. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Как видно из таблицы, грунтовые системы с большим количеством органических веществ медленно набирают прочность. Однако она может быть значительно повышена с увеличением расхода цемента.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. М. И. Копонова. Проблема почвенного гумуса и современные задачи его исследования. Изд. АН СССР, М., 1951. [2]. И. И. Лиштван. Исследование физико-химической природы торфа и процессов структурообразования в торфяных системах с целью регулирования их свойств. Изд. Калининского политехнического института, 1969. [3]. И. И. Лиштван, Н. П. Коваленко, Г. А. Евсеев, В. И. Румянцева. Влияние органических кислот торфа на процессы гидратации клинкерных минералов. Труды АЛТИ, вып. XXX, 1971. [4]. В. Н. Юнг, Б. Д. Тринкер. Поверхностно-активные гидрофильные вещества и электролиты в бетонах. М., 1960.

Поступила 12 апреля 1974 г.

УДК 658.382.3 : 634.0.31

### ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Д. Д. РЕПРИНЦЕВ, Ю. И. МЕРЕМЬЯНИН

Воронежский лесотехнический институт

Ставится вопрос о применении методов математической статистики для анализа производственного травматизма и рассматриваются теоретические предпосылки для выявления закономерностей его возникновения.

Производственный травматизм наносит большой социально-экономический ущерб народному хозяйству и обществу. Эффективность профилактики несчастных случаев зависит от глубины и объективности анализа травматизма, позволяющего наметить кардинальные меры по его предупреждению. Поэтому изучение производственного травматизма приобретает первостепенную важность.

В связи с тем, что несчастные случаи на производстве — события случайные, их количественный анализ может быть сделан теоретико-вероятностным методом, основанным на объективных статистических материалах за ряд лет. Распределение во времени несчастных случаев на предприятии можно рассматривать как случайный стационарный процесс с независимыми приращениями, подчиняющийся следующим условиям; стационарность, независимость приращений и ординарность во времени.

Для оценки вероятности возникновения явлений травматизма в некоторый промежуток времени  $t$  можно использовать биномиальную формулу

$$P_m(k) = C_m^k p^k q^{m-k}, \quad (1)$$

позволяющую найти вероятность  $P_m(k)$  того, что при проведении  $m$  некоторых испытаний опасное событие  $A$  наступит  $k$  раз, если вероятность наступления опасного события в каждом испытании равна  $p$  и, соответственно, вероятность противоположного события (отсутствие несчастного случая в каждом испытании) равна  $q$ . В этой формуле  $C_k^m$  — число сочетаний из  $m$  элементов по  $k$ , оно определяется как

$$C_k^m = \frac{m!}{k!(m-k)!}. \quad (2)$$

Найдем вероятность того, что за рассматриваемый промежуток времени не произойдет ни одного несчастного случая. Полагая  $k = 0$ , согласно формуле (1), получим

$$P_m(0) = C_m^0 p^0 q^m = q^m = (1-p)^m.$$

Прологарифмируем это выражение

$$\ln P_m(0) = m \ln(1-p).$$

Так как

$$p \ll 1,$$

то

$$\ln(1-p) = -p,$$

поэтому

$$\ln P_m(0) = -mp,$$

откуда

$$P_m(0) = e^{-mp}. \quad (3)$$

Положим  $k = 1$ , то есть найдем вероятность того, что за рассматриваемый промежуток времени  $t$  произойдет один несчастный случай, тогда

$$P_m(1) = C_m^1 p q^{m-1} = mp(1-p)^{m-1}.$$

Прологарифмируем это выражение

$$\ln \left[ \frac{P_m(1)}{mp} \right] = (m-1) \ln(1-p) \approx -(m-1)p.$$

В связи с тем, что общее число опасных ситуаций  $m \gg 1$ , можно считать  $m-1 \approx m$ . Поэтому

$$P_m(1) = mpe^{-mp}. \quad (4)$$

Аналогично для  $k = 2$

$$P_m(2) = \frac{(mp)^2}{2!} e^{-mp} \quad (5)$$

и для любого  $k$

$$P_m(k) = \frac{(mp)^k}{k!} e^{-mp}. \quad (6)$$

Несчастные случаи рассматриваются как случайные события, количество которых прямо пропорционально длительности промежутка  $t$ , в течение которого они рассматриваются. Если среднюю плотность числа

несчастных случаев за единицу времени обозначить через  $\lambda$ , то произведение  $\lambda t$  есть не что иное, как количество несчастных случаев за время  $t$ . Сравним это произведение с произведением  $mp$  выражения (6), в котором  $m$  — общее количество опасных ситуаций, возникших за время  $t$ ,  $p$  — вероятность несчастного случая. Совершенно очевидно, что произведение  $mp$  также определяет количество несчастных случаев за время  $t$ . Следовательно,

$$mp = \lambda t. \quad (7)$$

Обозначив для большей наглядности  $P_m(k)$  как  $P_t(k)$ , с учетом (7) выражение (6) можно переписать как

$$P_t(k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}. \quad (8)$$

Функция  $P_t(k)$  в теории вероятности называется функцией распределения Пуассона, а закон, описываемый ею — законом Пуассона.

Таким образом, зная величину  $\lambda t$  для данной производственной единицы и задаваясь значениями  $k$ , можно определять значения вероятности того, что произойдет  $k$  несчастных случаев за период времени  $t$ , то есть  $P_t(k)$ . Эту вероятность можно находить путем непосредственного подсчета по формуле (8) или брать по таблицам значений функции Пуассона [1]. Вероятность того, что количество несчастных случаев находится в границах от  $k_1$  до  $k_2$

$$P_t(k_1 \leq k \leq k_2) = \sum_{k=k_1}^{k=k_2} \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}. \quad (9)$$

Если ввести вспомогательную функцию

$$Q(k) = \sum_{n=k}^{\infty} \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t},$$

где  $n$  — некоторая вспомогательная величина, принимающая значения от  $k$  до  $\infty$ , то равенство (9) будет иметь вид

$$P_t(k_1 \leq k \leq k_2) = Q(k_1) - Q(k_2). \quad (10)$$

Функция  $Q(k)$  называется интегральной функцией Пуассона. Вероятность того, что на данном предприятии произойдет от  $k_1$  до  $k_2$  несчастных случаев за рассматриваемый промежуток времени  $t$ , равна разности значений интегральной функции Пуассона в точках  $k_1$  и  $k_2$ .

Вероятность того, что несчастный случай произойдет не менее  $k_1$  раз, определяется по формуле

$$P_t(k \geq k_1) = Q(k_1). \quad (11)$$

Это выражение вытекает из предыдущего (10), если в нем предположить  $k_2 = \infty$  (согласно таблицам интегральной функции Пуассона,  $Q(\infty) = 0$ ).

Вероятность того, что несчастный случай за рассматриваемый промежуток времени  $t$  произойдет менее  $k_2$  раз, вычисляется по формуле

$$P_t(k < k_2) = 1 - Q(k_2). \quad (12)$$

Последнее выражение легко получается из (10), если положить  $k_1 = 0$  и учесть, что  $Q(0) = 1$ .

Таким образом установлено, что распределение вероятности несчастных случаев за некоторый промежуток времени  $t$  в любом производственном подразделении лесозаготовительной отрасли подчиняется закону Пуассона. При этом вероятность того, что за рассматриваемый период времени  $t$  произойдет  $k$  (или от  $k_1$  до  $k_2$ ) несчастных случаев, можно определить по формулам (8)—(12) или брать по таблицам [1], [2].

Приведенная методика теоретической оценки вероятности возникновения производственного травматизма позволяет на основе статистических данных прогнозировать угрозу несчастных случаев и своевременно их предупреждать.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Г. П. Боев. Теория вероятностей. Гостехиздат, М., 1950. [2]. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. Изд-во «Наука», М., 1969.

---

Поступила 14 февраля 1973 г.

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.05

## МЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ БИПЛАНЕТАРНЫХ ПРИВодОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

В. Д. ПАРАДЕЕВ, В. К. ЛОБАСТОВ

Брянский технологический институт

Приведена методика определения оптимальных метрических параметров бипланетарных приводов прямолинейно-направляющих рабочих органов деревообрабатывающих станков. Даны результаты решения задачи на ЭВМ и приведен пример определения метрических параметров бипланетарного привода древошерстного станка роторного типа.

В деревообрабатывающей промышленности для приводов рабочих органов станков используют планетарные и бипланетарные механизмы. Так, например, в статье [4] предложена конструкция фрезерного станка для изготовления деталей треугольного профиля, в работе [3] рассмотрена возможность создания многопозиционного древошерстного станка роторного типа с бипланетарным приводом рабочего органа. В указанных примерах рабочие органы станков движутся по сателлитным траекториям планетарных и бипланетарных механизмов. С помощью бипланетарных механизмов можно осуществить также и поступательное движение сателлита бипланетарной части, на котором устанавливается рабочий орган станка. В планетарных же механизмах требуемое сложное движение можно получить лишь для точки сателлита.

Уравнения траектории точки  $O_2$  (центра сателлита  $b$  бипланетарной части) бипланетарного механизма (рис. 1,  $a, б$ ) можно представить в параметрическом виде

$$\begin{cases} X = r_H (-\sin \varphi + e \sin k\varphi); \\ Y = r_H (\cos \varphi - e \cos k\varphi), \end{cases} \quad (1)$$

где  $k = \pm \frac{\omega_h}{\omega_H}$  — передаточное отношение основного планетарного механизма; лежит в пределах  $-\infty \leq k \leq \infty$  и определяет количество лепестков циклоидальной кривой;

$\omega_H, \omega_h$  — угловые скорости водила основного планетарного и сателлитного планетарного механизмов [5];

$r_H$  — радиус водила основного планетарного механизма;

$e = \frac{r_h}{r_H}$  — параметр, определяющий положение центра сателлита планетарного механизма (бипланетарной части);

$r_h$  — радиус водила сателлитного планетарного механизма [5];

$\varphi$  — текущий угол поворота ведущего звена (водила  $H$ ).

Можно отметить, что при  $k < 0$  центр сателлита бипланетарной части механизма описывает гипоциклоиду, при  $k > 0$  — эллициклоиду.

В бипланетарных механизмах деревообрабатывающих станков для выполнения технологического процесса используют сателлитные кривые,

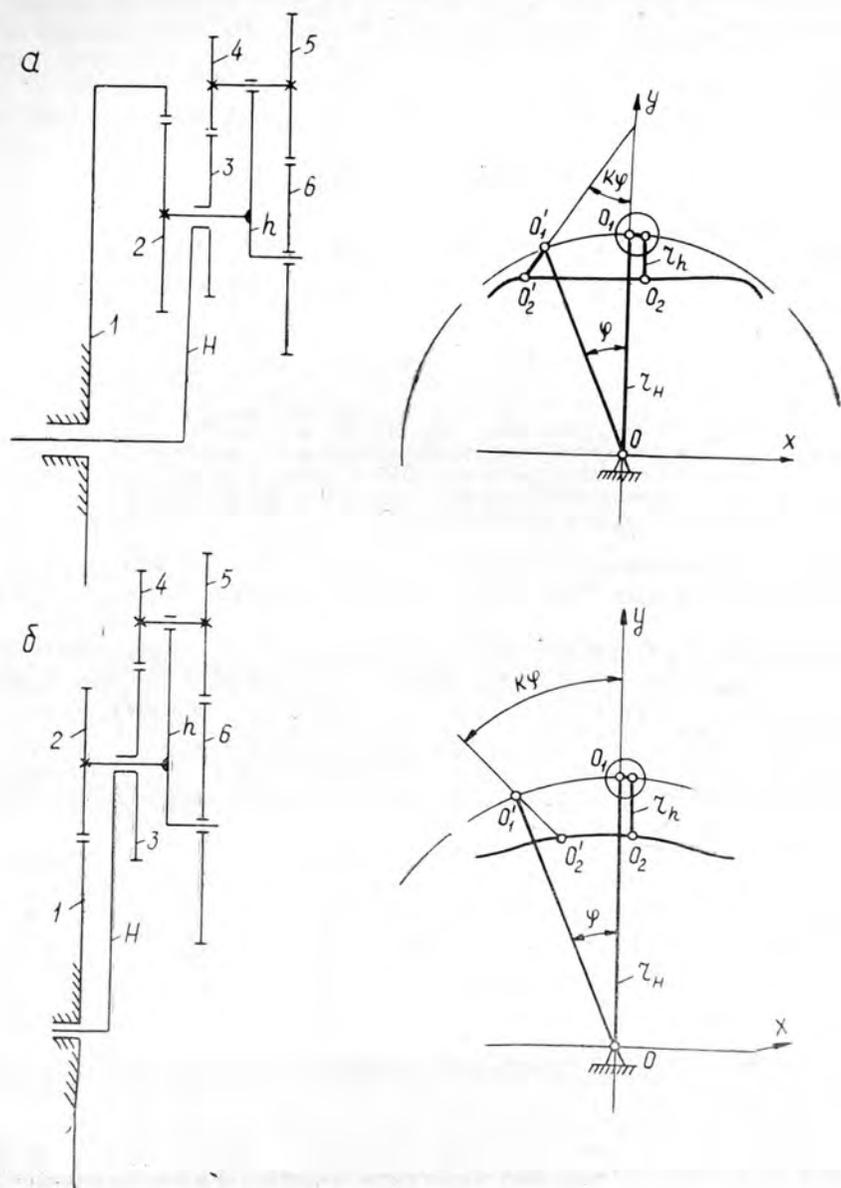


Рис. 1. Расчетные схемы.

*a* — для вывода уравнений гипоциклоиды; *б* — для вывода уравнений эпициклоиды.

наиболее близкие к прямой линии;  $k$  должно быть целым числом, то есть циклоида должна иметь фиксированные точки возврата.

При проектировании приближенно прямолинейно-направляющих би-планетарных механизмов необходимо определить оптимальные метрические параметры исходя из того, что центр спутника бипланетарной части описывает скругленный многоугольник. Число сторон многоугольника  $n = |k - 1|$ . Число рабочих позиций деревообрабатывающего станка с бипланетарным приводом может быть равно или кратно числу сторон многоугольника, описываемого центром спутника.

В данной работе предложен метод определения метрических параметров приближенно прямолинейно-направляющих бипланетарных механизмов, а также решена задача подбора передаточного числа бипланетарной части привода. Для решения первой части поставленной задачи применен метод Чебышева [2], позволяющий по заданной длине прямолинейного участка  $S$  и величине отклонения траектории от прямой линии  $\Delta$  определить оптимальные метрические параметры бипланетарного механизма.

Условия наилучшего приближения кривой к прямой:

$$|f(X) - p_n(X)|_{\max} \leq E; \quad (2)$$

$$f(X) - p_n(X) = \Delta(X), \quad (3)$$

где  $f(X)$  — приближаемая функция;  
 $\Delta(X)$  — приближаемый полином  $n$ -й степени;  
 $P_n(X)$  — погрешность отклонения приближающей функции от приближаемой (в нашем случае погрешность отклонения кривой от прямой);  
 $E$  — наибольшая величина погрешности.

При решении задачи сравниваем полученный Чебышевым один из полиномов, наименее отклоняющийся от нуля, с величиной отклонения прямой от кривой  $\Delta\varphi$

$$\Delta\varphi = Y - C, \quad (4)$$

где  $C = Y_1$  — уравнение прямой в системе координат  $XOY$ ;

$Y$  — координата сателлитной кривой, определяемая уравнением (1).

Разложив второе равенство системы (1) в ряд Маклорена (ограничимся только тремя первыми членами ряда, так как погрешность при этом составит 3%) и подставив в уравнение (4), найдем

$$\Delta(\varphi) = -r_H \frac{ek^4 - 1}{4!} \cdot \left[ \varphi^4 - \frac{ek^2 - 1}{ek^4 - 1} \cdot \frac{4!}{2!} \varphi^2 - \frac{r_H(1-e) - C}{r_H(ek^4 - 1)} \cdot 4! \right]. \quad (5)$$

Сравнивая полученное выражение с полиномом 4-й степени Чебышева, получим систему уравнений, определяющих неизвестные координаты в уравнении (5),

$$\begin{cases} \frac{ek^2 - 1}{ek^4 - 1} \cdot 12 = \varphi_0^2; \\ \frac{C - r_H(1-e)}{r_H(ek^4 - 1)} \cdot 4! = \frac{1}{8} \varphi_0^4, \end{cases} \quad (6)$$

где  $\varphi_0$  — угол поворота водила  $H$ , соответствующий перемещению точки  $O_2$  на величину  $S/2$ .

Порядок полинома Чебышева определяется числом неизвестных коэффициентов [2]

$$p_4(\varphi) = \varphi^4 - \varphi_0^2 \varphi^2 + \frac{1}{8} \varphi_0^4. \quad (7)$$

Система (6) имеет четыре неизвестных, но используя выражения для определения  $\Delta$  и  $S$

$$\Delta = \left| r_H \frac{ek^4 - 1}{4!} \right| \cdot \frac{\varphi_0^4}{8};$$

$$S = -2r_H \left[ (ek - 1) \varphi_0 - \frac{ek^3 - 1}{3!} \varphi_0^3 + \frac{ek^5 - 1}{5!} \varphi_0^5 \right],$$

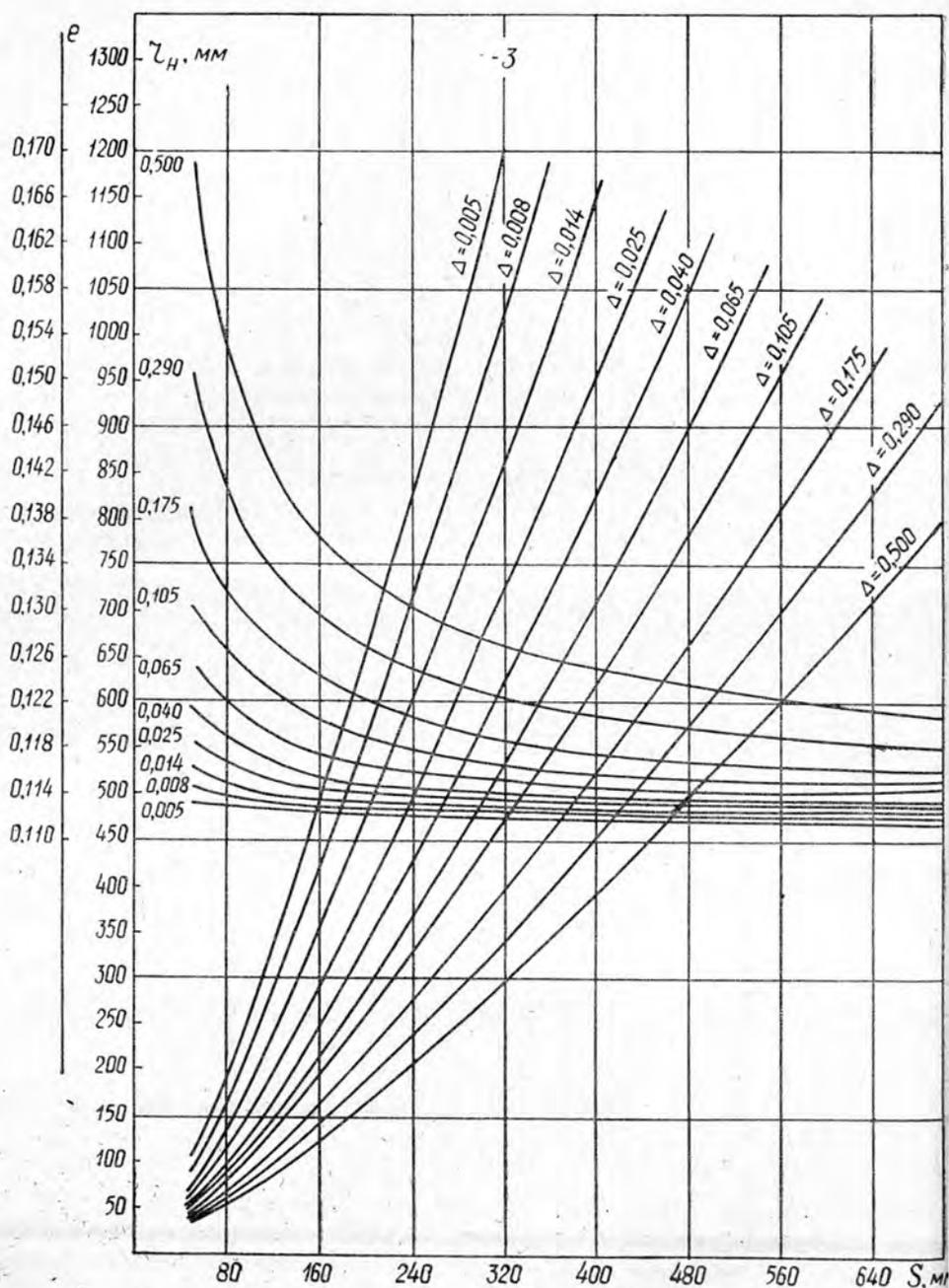


Рис. 2. Номограммы для определения метрических параметров бипланетарного механизма.

получим систему

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{ek^2 - 1}{ek^4 - 1} \cdot 12 = \varphi_0^2; \quad (8) \\ r_H(e - 1) + C = \Delta; \quad (9) \\ \Delta = \left| r_H \frac{ek^4 - 1}{4!} \right| \cdot \frac{\varphi_0^4}{8}; \quad (10) \\ S = 2r_H \left[ (1 - ek) \varphi_0 - \frac{1 - ek^3}{3!} \varphi_0^3 + \frac{1 - ek^5}{5!} \varphi_0^5 \right], \quad (11) \end{array} \right.$$

которая позволяет определить оптимальные метрические параметры бипланетарных механизмов.

Исключив из уравнений (8), (10), (11) величины  $\varphi_0$  и  $r_H$ , получим

$$\begin{aligned} r_H &= \frac{4}{3} \Delta \cdot \frac{ek^4 - 1}{(ek^2 - 1)^2}; \quad (12) \\ S &= \pm \frac{16}{3} \Delta \sqrt{3 \frac{ek^4 - 1}{(ek^2 - 1)^2} \left[ (ek - 1) - \frac{ek^3 - 1}{ek^4 - 1} \cdot 2(ek^2 - 1) + \right.} \\ &\quad \left. + \frac{6}{5} \frac{ek^5 - 1}{(ek^4 - 1)^2} (ek^3 - 1)^2 \right]}. \quad (13) \end{aligned}$$

Уравнение (13) решено на ЭЦВМ «Мир-1» [1]. Результаты представлены в виде графиков  $r_H = f_1(\Delta, S)$ ;  $e = f_2(\Delta, S)$ .

На рис. 2 в качестве примера приведены номограммы для определения оптимальных метрических параметров бипланетарного механизма

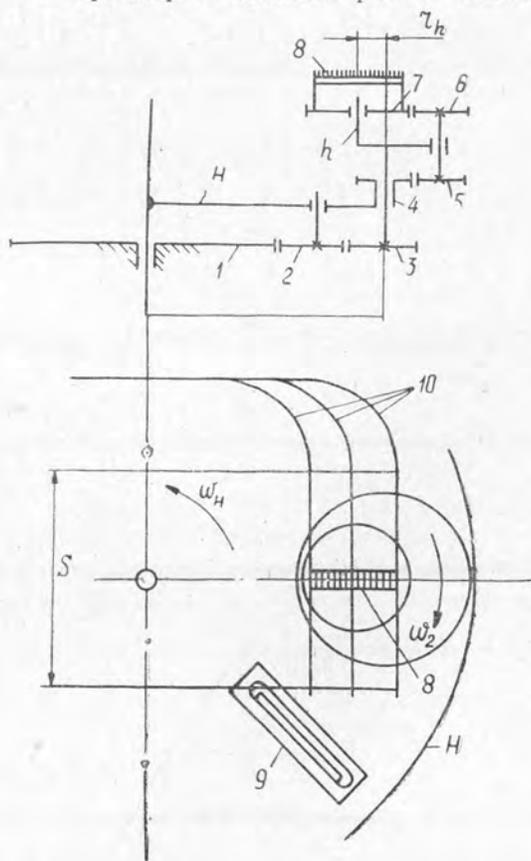


Рис. 3. Схема бипланетарного привода многопозиционного древошерстного станка роторного типа.

ма. По предложенной методике найдены метрические параметры планетарного привода двухпозиционного древошерстного станка.

На рис. 3 изображена схема привода станка, состоящего из водила  $H$  (водила), зубчатых колес 1, 2, 3 основного планетарного механизма, водила  $h$ , зубчатых колес 4, 5, 6, 7 сателлитного планетарного механизма. Кассета с делительными ножами 8 закреплена неподвижно на зубчатом колесе 7, подрезающие ножи установлены на диске  $H$ .

Принцип работы станка заключается в следующем. При вращении диска  $H$  приводится в действие кассета с делительными ножами, один из которых движется по смещенной в зоне резания траектории 10, представляющей собой укороченные гипоциклоиды. Делительные ножи надрезают делительными ножами на участках, где ветви гипоциклоиды близки к прямой. Надрезанный слой древесины срезается ножом.

Для обеспечения поступательного движения кассеты с делительными ножами необходимо, чтобы угловая скорость колеса 7 относительно собственной оси равнялась нулю. Исходя из этого, условие равенства нулю угловой скорости колеса 7 является жестким передаточное отношение  $i_{47}^h$  обращенной бипланетарной части механизма (от зубчатого колеса 4 к колесу 7 при неподвижном водиле  $h$ ).

По формуле Виллиса

$$i_{47}^h = \frac{z_5 \cdot z_7}{z_4 \cdot z_6} = 1 - \frac{n_h}{n_4},$$

где  $n_h$  — число оборотов водила  $h$ .

Пусть заданы: величина отклонения рабочего участка траектории ножей от прямой линии  $\Delta = 0,04$  мм, длина рабочего участка  $S = 400$  мм.

Требуется определить метрические параметры бипланетарного привода станка.

По номограммам (рис. 2) находим при заданных  $\Delta$  и  $S$ :

$$r_H = 825 \text{ мм}; e = 0,114; r_h = 94,5 \text{ мм}.$$

Исходя из полученных метрических параметров и передаточного отношения планетарного редуктора (основной и бипланетарной частей) производят подбор и определяют дополнительные параметры бипланетарного привода.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Р. С. Гутер. Программирование и вычислительная математика. Н. И. Левитский. Синтез механизмов по Чебышеву. М.—Л., 1946. [3]. Лобастов, В. К. Лобастов. К теории синтеза планетарного и бипланетарного привода деревообрабатывающих станков. Тезисы докладов к научно-техническому семинару «Качество и точность деревообрабатывающего оборудования», М., 1972. Рукин, И. В. Батин. Станок для бесшаблонного изготовления деталей профиля с радиально-закругленными вершинами. Журн. «Деревообрабатывающая промышленность» № 1, 1972.

Поступила 2 1972

УДК 621.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛА ДИСКОВОЙ РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ МРН-25

Т. П. СТУКОВА, Л. Г. НЕВЗОРОВА

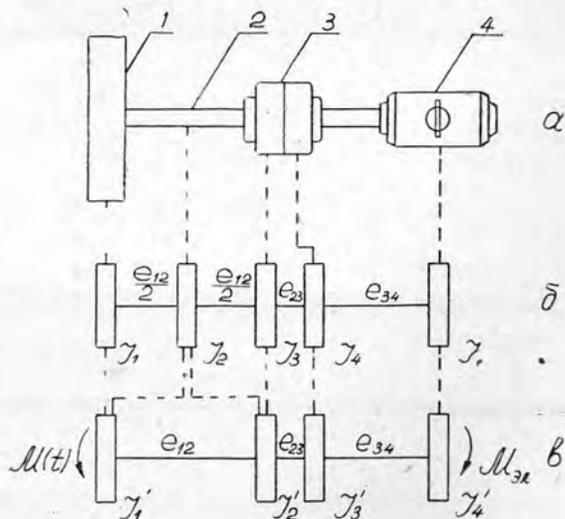
Архангельский лесотехнический институт

Для определения динамических характеристик привода подготовлена расчетная динамическая схема. Составлены и решены дифференциальные уравнения свободных и вынужденных колебаний под действием внешнего возмущающего момента, пропорционального силе резания.

В данной статье приведены результаты исследований крутильных колебаний дисковой рубительной машины МРН-25. В одной из работ [2] рассмотрены собственные колебания основного звена машины — вала с насаженными на него дисками. Однако подобное исследование не учитывает переменного характера нагрузки. При работе на вал машины действует периодически изменяющийся с течением времени внешний возмущающий момент, приложенный к ножовому диску. В результате система совершает сложное движение, представляющее собой наложение свободных и вынужденных колебаний.

Рис. 1. Схемы рубительной машины МРН-25.

а — кинематическая; б — динамическая расчетная; в — окончательная расчетная.



Для определения динамических характеристик привода (рис. 1, а), состоящего из ножового диска 1, вала машины 2, муфты 3 и электродвигателя 4, нами подготовлена динамическая расчетная схема (рис. 1, б), то есть вычислены моменты инерции вращающихся деталей привода, а также жесткости (податливости) упругих звеньев между этими деталями (табл. 1).

С целью упрощения динамического расчета пятимассовую систему (рис. 1, б) приводили к четырехмассовой (рис. 1, в) [3]. Для оценки

Таблица 1

Детали и звенья привода	$I, \text{ кгсм}^2/\text{сек}^2$	$I', \text{ кгсм}^2/\text{сек}$	$e \cdot 10^{-3}, \text{ рад/кгсм}$	$C^* \cdot 10^5, \text{ кгсм/рад}$
Ножевой диск	2830,0	2831	—	—
Вал машины	1,4	—	80,3	124
Полумуфта	2,2	3	318	31,45
Полумуфта ротора	6,2	6		
Ротор электродвигателя	63	63	118,0	84,75

$$*C = \frac{1}{e}.$$

правильности произведенной замены вычислены низшие собственные частоты этих систем. Расхождение в частотах получилось равным 1,01%, что говорит о высокой точности расчетов и правильности произведенной замены.

Окончательная расчетная схема (рис. 1, в) представляет собой вал с четырьмя массами (дисками), где  $I_1', I_2', I_3', I_4'$  — приведенные моменты инерции ножевого диска, двух полумуфт, ротора электродвигателя,  $e_{12}, e_{23}, e_{34}$  — податливости вала машины, муфты, ротора электродвигателя.

Рассмотрим свободные и вынужденные крутильные колебания вала с закрепленными на нем четырьмя дисками. Положение этой системы в любой момент времени определяется углами поворота каждого из дисков, то есть четырьмя независимыми друг от друга параметрами (система имеет четыре степени свободы). Обозначим углы поворота дисков  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  и будем отсчитывать их от равновесного недеформируемого положения системы, считая, что эти углы в равновесном положении равны нулю.

Крутильные колебания вала описываются системой дифференциальных уравнений, которые получаем, составляя для каждого диска уравнение его вращения вокруг неподвижной оси

$$\left. \begin{aligned} I_1'' \ddot{\varphi}_1 + C_1 (\varphi_1 - \varphi_2) &= 0; \\ I_2'' \ddot{\varphi}_2 + C_1 (\varphi_2 - \varphi_1) + C_2 (\varphi_2 - \varphi_3) &= 0; \\ I_3'' \ddot{\varphi}_3 + C_2 (\varphi_3 - \varphi_2) + C_3 (\varphi_3 - \varphi_4) &= 0; \\ I_4'' \ddot{\varphi}_4 + C_3 (\varphi_4 - \varphi_3) &= 0, \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $C_1, C_2, C_3$  — жесткости упругих звеньев между дисками;

$$C_1 = \frac{1}{e_{12}}; \quad C_2 = \frac{1}{e_{23}}; \quad C_3 = \frac{1}{e_{34}}.$$

Для определения главных колебаний вала принимаем

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \alpha_1 \sin(kt + \beta); \\ \varphi_2 &= \alpha_2 \sin(kt + \beta); \\ \varphi_3 &= \alpha_3 \sin(kt + \beta); \\ \varphi_4 &= \alpha_4 \sin(kt + \beta), \end{aligned} \right\} (2)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  — амплитуды колебаний дисков;  
 $k$  — частота;  
 $\beta$  — начальная фаза колебаний.

Подставляя значения углов  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  из равенств (2) в уравнения (1) и сокращая на  $\sin (kt + \beta)$ , найдем выражения для определения  $k \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$

$$\left. \begin{aligned} (C_1 - k^2 I_1') \alpha_1 - C_1 \alpha_2 &= 0; \\ -C_1 \alpha_1 + (C_1 + C_2 - k^2 I_2') \alpha_2 - C_2 \alpha_3 &= 0; \\ -C_2 \alpha_2 + (C_2 + C_3 - k^2 I_3') \alpha_3 - C_3 \alpha_4 &= 0; \\ -C_3 \alpha_3 + (C_3 - k^2 I_4') \alpha_4 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Составив определитель этой системы, развернув его и приравняв к нулю, получим частотное уравнение относительно  $k^2$

$$k^6 - 79,749 \cdot 10^5 k^4 + 1030 \cdot 10^{10} k^2 - 300,143 \cdot 10^{15} = 0.$$

Корни этого уравнения определяют частоты свободных колебаний; находят их через вспомогательные величины, вычисленные при помощи таблиц [1].

Частоты главных крутильных колебаний вала

$$k_1 = 173 \text{ сек}^{-1}; \quad k_2 = 1372 \text{ сек}^{-1}; \quad k_3 = 2316 \text{ сек}^{-1}.$$

Соответствующие им числа колебаний

$$\left. \begin{aligned} n_1 &= \frac{30k_1}{\pi} = \frac{30 \cdot 173}{3,14} = 1653 \text{ кол/мин}; \\ n_2 &= \frac{30k_2}{\pi} = \frac{30 \cdot 1372}{3,14} = 13108 \text{ кол/мин}; \\ n_3 &= \frac{30k_3}{\pi} = \frac{30 \cdot 2316}{3,14} = 22175 \text{ кол/мин}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Для установления форм главных колебаний вала вычислим, пользуясь уравнением (2), отношение амплитуд колебаний дисков в каждом из главных колебаний.

Для первого главного колебания при  $k_1 = 173 \text{ сек}^{-1}$

$$\frac{\alpha_2^{(1)}}{\alpha_1^{(1)}} = -5,8; \quad \frac{\alpha_3^{(1)}}{\alpha_1^{(1)}} = -32,5; \quad \frac{\alpha_4^{(1)}}{\alpha_1^{(1)}} = 41,8;$$

для второго главного колебания при  $k_2 = 1372 \text{ сек}^{-1}$

$$\frac{\alpha_2^{(2)}}{\alpha_1^{(2)}} = -426; \quad \frac{\alpha_3^{(2)}}{\alpha_1^{(2)}} = -1356; \quad \frac{\alpha_4^{(2)}}{\alpha_1^{(2)}} = 104;$$

для третьего главного колебания при  $k_3 = 2316 \text{ сек}^{-1}$

$$\frac{\alpha_2^{(3)}}{\alpha_1^{(3)}} = -1223; \quad \frac{\alpha_3^{(3)}}{\alpha_1^{(3)}} = 192; \quad \frac{\alpha_4^{(3)}}{\alpha_1^{(3)}} = -5.$$

Принимаем амплитуду колебаний первого диска за единицу, то есть полагаем  $\alpha_1^{(1)} = \alpha_1^{(2)} = \alpha_1^{(3)} = 1$ , и откладываем амплитуды колебаний дисков перпендикулярными к оси вала. Соединяя последовательно концы построенных отрезков прямыми линиями, получаем графики, изображающие формы главных колебаний вала (рис. 2).

Точки пересечения этих графиков с осью вала определяют узловые сечения вала, то есть сечения, которые в данном главном колебании остаются неподвижными.

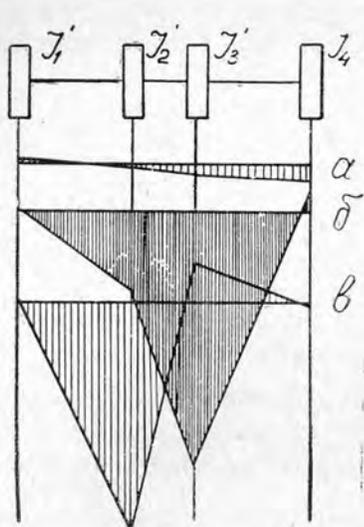


Рис. 2. Формы колебаний.

а, б, в — соответственно I, II, III главные колебания.

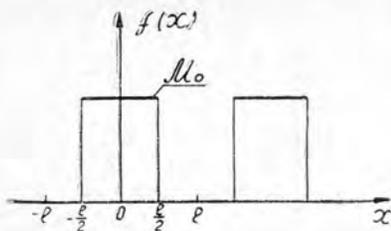


Рис. 3. График изменения внешнего возмущающего момента.

Дифференциальные уравнения вынужденных колебаний системы дисков отличаются от уравнений свободных крутильных колебаний наличием возмущающих моментов, приложенных к дискам, в правой части этих уравнений. На первый диск действует внешний возмущающий момент  $M(t)$ , на четвертый диск — момент электродвигателя  $M_{эл}$ .

Дифференциальные уравнения вынужденных колебаний.

$$\left. \begin{aligned} I_1' \ddot{\varphi}_1 + C_1 (\varphi_1 - \varphi_2) &= M(t); \\ I_2' \ddot{\varphi}_2 + C_1 (\varphi_2 - \varphi_1) + C_2 (\varphi_2 - \varphi_3) &= 0; \\ I_3' \ddot{\varphi}_3 + C_2 (\varphi_3 - \varphi_2) + C_3 (\varphi_3 - \varphi_4) &= 0; \\ I_4' \ddot{\varphi}_4 + C_3 (\varphi_4 - \varphi_3) &= M_{эл}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Внешний возмущающий момент  $M(t)$  пропорционален силе резания и при неполном использовании ширины реза может быть представлен в виде графика (рис. 3). Эта функция кусочно-монотонная и ограниченная, и, следовательно, она допускает разложение в ряд Фурье

$$M(t) = \frac{M_0}{2} + \frac{2M_0}{\pi} \left( \cos pt - \frac{1}{3} \cos 3pt + \frac{1}{5} \cos 5pt - \frac{1}{7} \cos 7pt + \dots \right), \quad (6)$$

где  $p$  и  $M_0$  — соответственно частота и максимальное значение внешнего возмущающего момента;

$$p = \frac{2\pi}{T} \quad (\text{здесь } T \text{ — период}).$$

Для рубительной машины МРН-25, имеющей 16 ножей и скорость вращения ротора электродвигателя  $n = 735$  об/мин, период  $T$  возмущающей силы равен 0,005 сек.

Частоты гармонических составляющих внешнего возмущающего момента и соответствующие им числа колебаний вала

$$\begin{aligned} p_1 &= 1250 \text{ сек}^{-1}; & n_1' &= 11900 \text{ кол/мин}; \\ p_2 &= 3750 \text{ сек}^{-1}; & n_2' &= 35700 \text{ кол/мин}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_3 &= 6250 \text{ сек}^{-1}; & n'_3 &= 59000 \text{ кол/мин}; \\
 p_4 &= 8750 \text{ сек}^{-1}; & n'_4 &= 83500 \text{ кол/мин}; \\
 & \dots & & \dots
 \end{aligned}$$

Некоторые авторы [3], [4] при решении дифференциальных уравнений вынужденных колебаний не учитывают значение  $M_{э.л}$  и постоянный член разложения  $\frac{M_0}{2}$  считая, что эти величины влияют только на положение статического равновесия системы.

Рассмотрим вынужденные колебания системы в этом случае. Максимальное значение возмущающего момента  $M(t)$

$$M_0 = \int_{r_1}^{r_2} fr dr = \frac{fr^2}{2} \Big|_{r_1}^{r_2} = \left( r_2^2 - r_1^2 \right) \frac{f}{2},$$

где  $r$  — радиус ножевого диска;

$r_1$  и  $r_2$  — расстояния от оси вращения до кромок загрузочного патрона;

$f$  — удельная сила резания.

Для машины МРН-25  $r_2 = 560$  мм,  $r_1 = 310$  мм,  $f = 8$  кгс/мм;  $M_0 = 87 \cdot 10^3$  кгс·см.

Частные решения системы неоднородных дифференциальных уравнений (5) находим в виде, аналогичном выражению (6),

$$\left. \begin{aligned}
 \varphi_1 &= A_1 \cos pt - \frac{A_2}{3} \cos 3pt + \frac{A_3}{5} \cos 5pt - \dots; \\
 \varphi_2 &= B_1 \cos pt - \frac{B_2}{3} \cos 3pt + \frac{B_3}{5} \cos 5pt - \dots; \\
 \varphi_4 &= C_1 \cos pt - \frac{C_2}{3} \cos 3pt + \frac{C_3}{5} \cos 5pt - \dots; \\
 \varphi_5 &= D_1 \cdot \cos pt - \frac{D_2}{3} \cos 3pt + \frac{D_3}{5} \cos 5pt - \dots,
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где  $A_1, A_2, \dots, A_n; B_1, B_2, \dots, B_n; C_1, C_2, \dots, C_n; D_1, D_2, \dots, D_n$  — постоянные интегрирования.

Как показали предварительные расчеты, все члены уравнений (7), начиная со вторых, намного меньше первых членов. Поэтому в расчетах ограничимся первыми членами уравнений (7).

Найдя первые и вторые производные от  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ , подставляя их в уравнения (5) и сокращая на  $\cos pt$ , получим уравнения для определения амплитуд вынужденных колебаний  $a_1, a_2, a_3, a_4$

$$\left. \begin{aligned}
 -p^2 I'_1 a_1 + C_1 (a_1 - a_2) &= \frac{2M_0}{\pi}; \\
 -p^2 I'_2 a_2 + C_1 (a_2 - a_1) + C_2 (a_2 - a_3) &= 0; \\
 -p^2 I'_3 a_3 + C_2 (a_3 - a_2) + C_3 (a_3 - a_4) &= 0; \\
 -p^2 I'_4 a_4 + C_3 (a_4 - a_3) &= 0.
 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Подставляя в уравнения (8) числовые значения всех величин, имеем

$$\left. \begin{aligned} -44431a_1 - 69a_2 &= 0,554; \\ 67,4a_2 - 69a_1 - 29,6a_3 &= 0; \\ 29,7a_3 - 29,6a_2 - 62,5a_4 &= 0; \\ -922,5a_4 - 62,5a_3 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Решив систему уравнений (9), находим

$$\begin{aligned} a_1 &= -1,25 \cdot 10^{-5} \text{ рад}; & a_2 &= 2,04 \cdot 10^{-5} \text{ рад}; \\ a_3 &= -1,73 \cdot 10^{-5} \text{ рад}; & a_4 &= 0,117 \cdot 10^{-5} \text{ рад}. \end{aligned}$$

По вычисленным значениям амплитуд строим график, изображающий форму вынужденных колебаний вала (рис. 4). Амплитуды  $a_2$  и  $a_3$  колебаний дисков с моментами инерции  $I_2'$  и  $I_3'$  незначительно отличаются друг от друга, следовательно, муфта применяемого типа (втулочно-пальцевая) недостаточно гасит колебания.

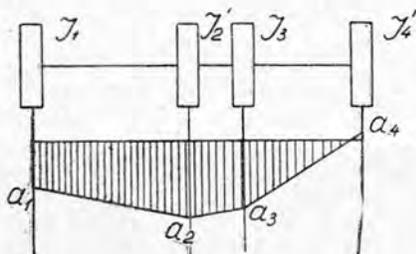


Рис. 4. График формы вынужденных колебаний вала.

Из общего числа частот свободных колебаний практический интерес представляют только те частоты, резонанс с которыми может вызвать опасные напряжения в валопроводе. Зона, в которой возможно совпадение частот, является запретной.

Сравнение частот свободных и вынужденных колебаний машины МРН-25 позволяет сделать вывод, что границы запретных зон чисел оборотов не перекрывают рабочих чисел оборотов. Поэтому конструкцию машины можно считать удовлетворительной. Однако граница запретной зоны (847 об/мин) близко подходит к рабочему числу оборотов машины (750 об/мин), поэтому следует продолжить ее расчет в отношении изыскания средств по смещению запретной зоны вправо, то есть в сторону увеличения частоты второго главного колебания. Такое увеличение может быть достигнуто варьированием элементов системы, то есть изменением  $I$  и  $e$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. Справочник по математике. Государственное издательство технико-теоретической литературы, М., 1956. [2] Н. М. Вальщиков. Рубильные машины, изд-во «Машиностроение», Л., 1970. [3] Е. И. Ривин. Динамика привода станков, изд-во «Машиностроение», М., 1966. [4] А. А. Яблонский, С. С. Норейко. Курс теории колебаний. Изд-во «Высшая школа», М., 1966.

УДК 674.053

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ РАМНЫХ И ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

В. П. НОВОСЕЛЬЦЕВ, А. Ф. СЕЛЕЗНЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Анализ полученных уравнений дает возможность установить, что наиболее приемлемый способ выведения полотна пилы из состояния динамической неустойчивости — уменьшение изменения силы натяжения.

В результате наших исследований и анализа работ ряда авторов установлено, что в процессе пиления силы натяжения рамных и ленточных пил изменяются по величине на 30—40%.

Изменение силы натяжения рамных пил объясняется динамической деформацией пыльной рамки. Силы натяжения ленточных пил изменяются в результате колебаний шкивов ленточнопильного станка; колебания возникают вследствие зазоров в подшипниках, дисбаланса, овальности шкивов, динамических деформаций элементов подвески верхнего шкива, перемещения полотна вдоль оси шкива.

При определенных условиях в результате действия переменной по величине продольной нагрузки прямолинейная форма полотна пилы становится динамически неустойчивой: амплитуда поперечных изгибных и крутильных колебаний быстро возрастает до больших значений. Увеличение амплитуды поперечных колебаний значительно снижает качество распиловки [2]. В том случае, когда сила натяжения действует вдоль оси пилы, изгибные и крутильные колебания происходят независимо друг от друга [1]. Это обстоятельство значительно упрощает расчет полотна пилы, так как позволяет выполнить исследования отдельно по изгибным и крутильным колебаниям.

В настоящей работе выявлены условия возникновения состояния динамической неустойчивости по изгибным колебаниям и указаны способы выведения полотна пилы из этого состояния.

Расчетные схемы для исследования состояния динамической устойчивости пил по изгибным колебаниям приведены на рис. 1.

Как известно, дифференциальное уравнение упругой линии при изгибе

$$EI_z \frac{d^2y}{dx^2} = -M(x), \quad (1)$$

где  $EI_z$  — жесткость полотна пилы при изгибе;

$y$  — поперечный прогиб пилы в рассматриваемом сечении.

Изгибающий момент в сечении  $x$  для ленточной пилы

$$-M(x) = N(t)y - M_q - M_v, \quad (2)$$

где  $N(t)$  — периодическая продольная сила;

$M_q$  — изгибающий момент от распределенной силы инерции  $q_1$  массы полотна пилы (эта сила возникает вследствие поперечных колебаний полотна);

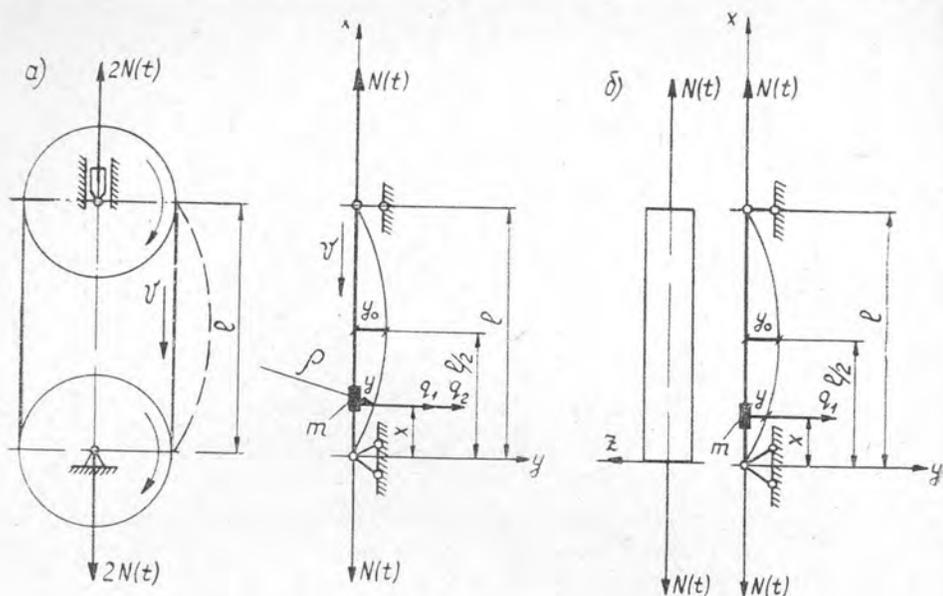


Рис. 1. Расчетные схемы для исследования состояния динамической устойчивости пил.

а — для ленточной; б — для рамной.

$M_v$  — изгибающий момент, обусловленный силой инерции  $q_2$ , возникающей при движении полотна пилы по криволинейной траектории радиуса  $\rho$ .

После двукратного дифференцирования уравнение (2) с учетом равенства (1) принимает вид

$$EI_z \frac{d^4 y}{dx^4} = N(t) \frac{d^2 y}{dx^2} - \frac{d^2 M_q}{dx^2} - \frac{d^2 M_v}{dx^2}. \quad (3)$$

Так как

$$\frac{d^2 M_q}{dx^2} = -q_1 = m \frac{d^2 y}{dt^2}; \quad (4)$$

$$\frac{d^2 M_v}{dx^2} = -q_2 = \frac{mv^2}{\rho} = mv^2 \frac{d^2 y}{dx^2}, \quad (5)$$

то уравнение (3) можно переписать

$$EI_z \frac{d^4 y}{dx^4} - N(t) \frac{d^2 y}{dx^2} + m \frac{d^2 y}{dt^2} + mv^2 \frac{d^2 y}{dx^2} = 0. \quad (6)$$

В уравнениях (4) — (6) введены следующие обозначения:

$m$  — масса единицы длины полотна пилы;

$v$  — скорость движения пилы;

$\rho$  — радиус изгиба полотна пилы при поперечных колебаниях.

Решение уравнения (6), позволяющего определить динамический прогиб полотна пилы в любой момент времени, находим в форме

$$y(x, t) = y_0(t) \sin \frac{\pi x}{l}; \quad (7)$$

это удовлетворяет граничным условиям шарнирно опертой балки

$$y(x, t) = 0; \quad \frac{d^2 y}{dx^2}(x, t) = 0 \text{ при } x = 0 \text{ и } x = l.$$

В уравнение (7) введены следующие обозначения:

$l$  — длина полотна пилы;

$y_0(t)$  — поперечный прогиб полотна в сечении  $x = l/2$ .

При установившемся режиме колебаний шкивов продольную силу  $N(t)$  можно записать в виде

$$N(t) = N_0 - \Delta N_a \cdot \cos \omega t, \quad (8)$$

где  $N_0$  — постоянная составляющая силы натяжения пилы;

$\Delta N_a$  — амплитудное значение изменения силы натяжения пилы;

$\omega$  — частота внешней возмущающей силы.

Подставив выражения (7) и (8) в уравнение (6), после алгебраических преобразований получим

$$\frac{d^2 y_0}{dt^2} + \left[ \frac{EI_z \pi^4 + N_0 \pi^2 l^2 - v^2 \pi^2 m l^2}{m l^4} - \frac{\Delta N_a \cos \omega t \cdot \pi^2}{m l^2} \right] y_0 = 0. \quad (9)$$

Введем новую переменную

$$z = \frac{\omega t}{2}; \quad t = \frac{2z}{\omega};$$

$$dt^2 = \frac{4dz^2}{\omega^2}; \quad \frac{d^2 y_0}{dt^2} = \frac{d^2 y_0}{dz^2} \cdot \frac{\omega^2}{4}. \quad (10)$$

С учетом выражений (10) уравнение (9) примет вид

$$\frac{d^2 y_0}{dz^2} + \left[ \frac{4(EI_z \pi^4 + N_0 \pi^2 l^2 - v^2 \pi^2 m l^2)}{m l^4 \omega^2} - \frac{4 \Delta N_a \pi^2}{m l^2 \omega^2} \cdot \cos 2z \right] y_0 = 0. \quad (11)$$

Полученное равенство (11) представляет собой уравнение Маттье, которое имеет канонический вид

$$\frac{d^2 y}{dz^2} + (a - 2q \cos 2z) y = 0, \quad (12)$$

где для нашего случая применительно к ленточным пилам

$$a = \frac{4(EI_z \pi^4 + N_0 \pi^2 l^2 - v^2 \pi^2 m l^2)}{l^4 \omega^2 m}; \quad (13)$$

$$q = \frac{\Delta N_a \cdot 2\pi^2}{m l^2 \cdot \omega^2}. \quad (14)$$

Постоянная составляющая силы натяжения ленточного полотна  $N_0$  состоит из двух компонентов [3]: первоначальной статической силы натяжения  $N_c$  и динамической силы  $N_d = mv^2$ , которая возникает при вращении ленты на шкивах,

$$N_0 = N_c + mv^2. \quad (15)$$

Подставив равенство (15) в выражение (13), получим

$$a = \frac{4[EI_z \pi^4 + (N_c + mv^2) \pi^2 l^2 - v^2 \pi^2 m l^2]}{l^4 \omega^2 m} \quad (16')$$

или

$$a = \frac{4(EI_z \pi^4 + N_c \pi^2 l^2)}{l^4 \omega^2 m}. \quad (16)$$

Из выражения (16) следует, что при натяжении полотна посредством груза скорость движения ленты  $v$  не влияет на динамическую устойчивость пилы.

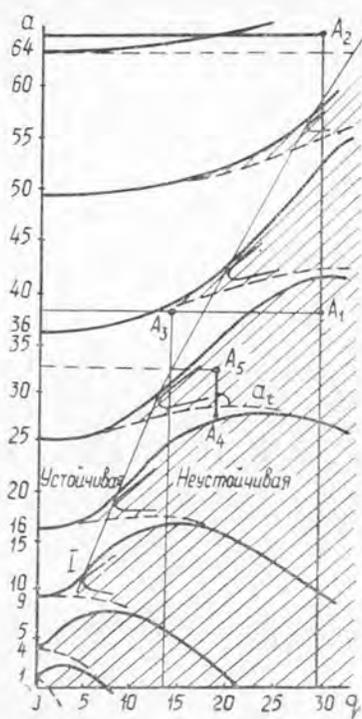


Рис. 2. Диаграмма устойчивости для функций Матвея.

к потере состояния динамической устойчивости, что соответствует переходу  $A_4$  в  $A_5$ ); 2) снижением коэффициента  $q$  (точка  $A_3$ ), то есть уменьшением изменения силы натяжения  $\Delta N_a$  в уравнении (14).

Стабилизацию силы натяжения, то есть уменьшение величины  $\Delta N_a$  можно осуществить различными способами: в лесопильных рамах — посредством демпфирования динамических деформаций пильной рамки [2], в ленточнопильных станках — демпфированием колебаний подвески верхнего шкива.

Экспериментальные исследования, выполненные на лесопильной раме РЛ-2 [2], подтвердив правильность теоретических выводов, показали, что уменьшение изменения силы натяжения позволяет снизить начальную силу натяжения пил и повысить качество поверхности пропилы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. В. В. Болотин. Динамическая устойчивость упругих систем. Госиздат технико-теоретической литературы, М., 1956. [2]. В. П. Новосельцев. Влияние колебаний пильной рамки на режимы рамного пиления. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к. т. н., ЛТА, 1973. [3]. C. M. ete. Some Dynamic characteristics of Band Saws. Forest Products Journal, v. 15, № 1, 1965.

Поступила 25 февраля 1974 г.

УДК 674.05:621.9

## ОПИСАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ КОНТУРОВ МЕБЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПОЛИНОМОВ

А. С. ГРИГОРЬЕВ

Львовский лесотехнический институт

Дана методика гармонического анализа замкнутых криволинейных контуров на примере мебельных деталей. Разработан процесс улучшения сходимости получаемых тригонометрических полиномов, позволяющий воспроизводить контур уменьшенным количеством их членов. Приведены данные гармонического анализа четырех характерных мебельных деталей с криволинейным контуром.

В некоторых случаях нужно иметь математическое описание замкнутых криволинейных контуров мебельных деталей, например, для воспроизведения контуров механизмами с помощью кинематического метода [1], [2].

С этой точки зрения наиболее рационально использовать систему интерполяционных тригонометрических полиномов  $T_{mx} = f(t)$  и  $T_{my} = f(t)$ . Для получения полиномов разложим контур в системе координат  $XOY$  на две параметрические кривые  $x = f(t)$  и  $y = f(t)$  (рис. 1). В результате имеем две функции с периодом  $2\pi$ , у которых известно  $n$  значений в точках промежутка  $[0; 2\pi]$ , отстоящих друг от друга на величину

$$\Delta t = \frac{2\pi}{n}.$$

Такой вид кривых позволяет применить к ним теорию гармонического анализа [3].

Как видно из рис. 1, в случае симметричного контура (что характерно для подавляющего большинства криволинейных мебельных деталей) параметрическая кривая  $y = f(t)$  обладает свойством симметрии, а кривая  $x = f(t)$  — свойством косой симметрии.

Симметричную кривую можно представить упрощенным тригонометрическим полиномом, содержащим только косинусы, а кососимметричную кривую — тригонометрическим полиномом, содержащим только синусы. В этом случае для кривых  $x = f(t)$  и  $y = f(t)$ .

$$T_{mx}(t) = \sum_{k=1}^m b_k \sin kt; \tag{1}$$

$$T_{my}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^m a_k \cos kt.$$

Используя формулы Бесселя, находим коэффициенты

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i;$$

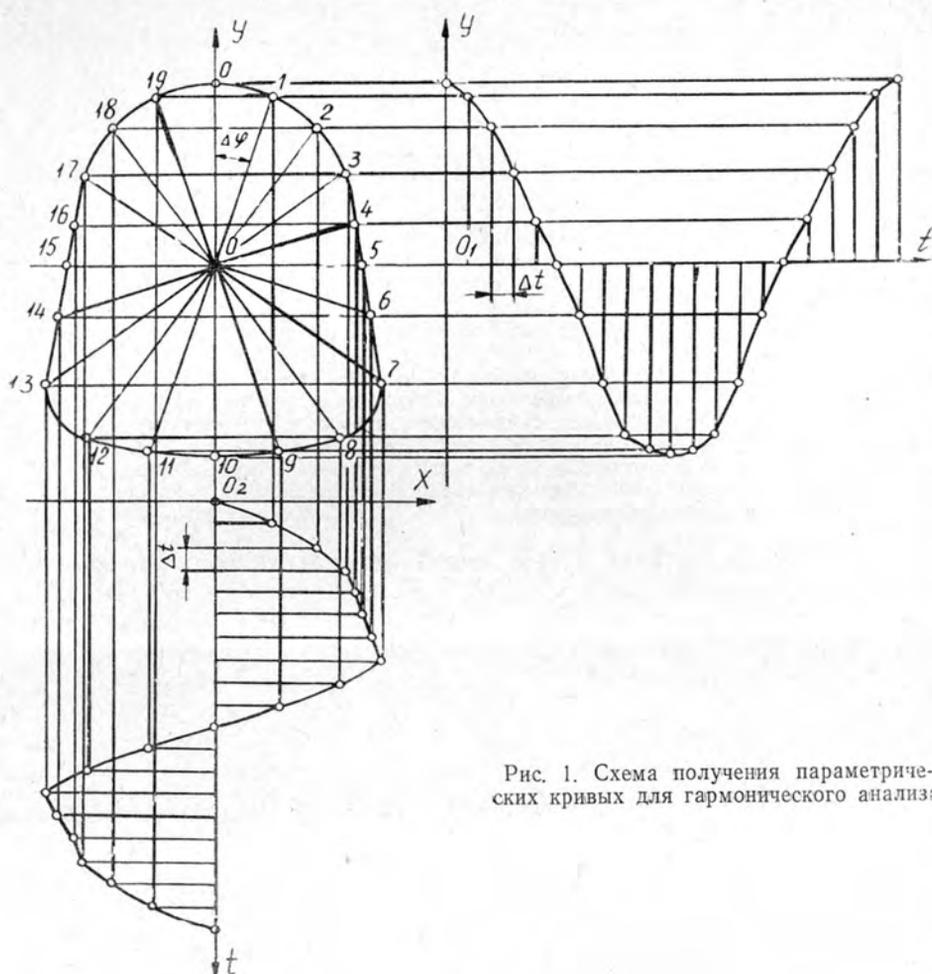


Рис. 1. Схема получения параметрических кривых для гармонического анализа.

$$a_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n y_i \cos kt_i;$$

$$b_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sin kt_i$$

$$(k = 1, 2, \dots, n).$$

При этом порядок полиномов  $m$  зависит от количества точек  $n$  на контуре

$$m = \frac{n-1}{2}, \quad (2)$$

а

$$t_i = \frac{2\pi i}{n}$$

$$(i = 1, 2, \dots, n).$$

При увеличении  $n$  интерполяционные полиномы (1) совпадают с заданными кривыми во все большем количестве точек, переходя для  $n \rightarrow \infty$  в ряды Фурье. Следовательно, чтобы увеличить точность воспроизведения контура, нужно брать большее количество точек, а это приводит к возрастанию порядка полинома согласно работе [2]. С целью получения более компактного математического выражения, что очень важно в случае синтеза воспроизводящего механизма, разработан метод улучшения сходимости, основанный на выборе точек интерполяции. Как видно из рис. 1, один и тот же контур можно представить различными точками, что приводит к изменению вида параметрических кривых. Возможен такой закон выбора точек контура, при котором тригонометрические полиномы (1) наиболее быстро сходятся. Это подтверждается следующим примером. Если взять криволинейный контур, уравнение которого известно, например эллиптический треугольник

$$\begin{aligned}x &= 195 \sin t + 10 \sin 4t; \\y &= 195 \cos t + 10 \cos 4t,\end{aligned}\quad (3)$$

то, выбирая точки, лежащие на пересечении контура лучами, проведенными через равные углы из центра контура, получим уравнения

$$\begin{aligned}x &= 195,3 \sin t - 4,4 \sin 2t + 5,4 \sin 4t + 1,2 \sin 5t; \\y &= 196,2 \cos t + 4,9 \cos 2t + 1,3 \cos 3t + 4,9 \cos 4t + \\&\quad - 0,5 \cos 5t - 0,8 \cos 7t,\end{aligned}$$

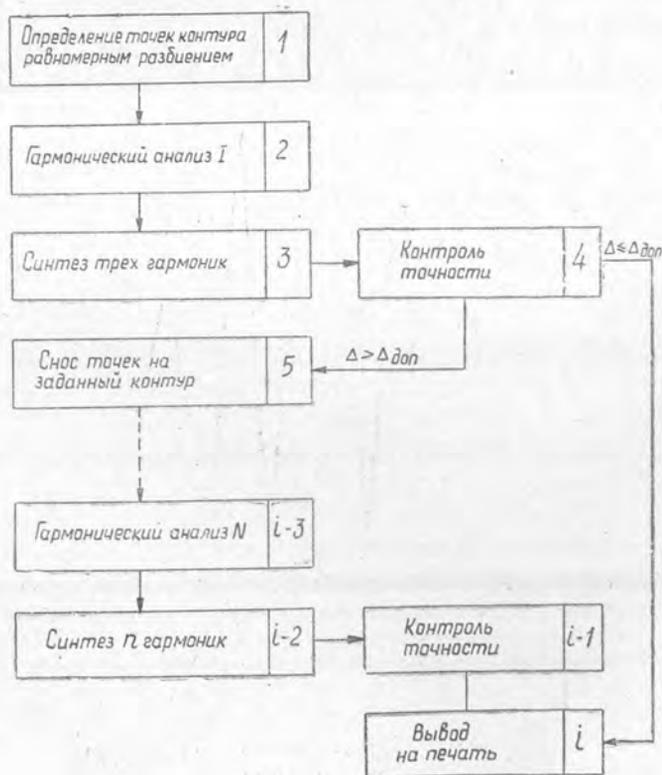


Рис. 2. Блок-схема вычислительного процесса улучшения сходимости.

которые значительно отличаются от исходных. Если же взять точки, найденные при синтезе уравнений (3), то при гармоническом анализе получим эти же выражения.

Для определения положения тех точек, при использовании которых гармонический анализ дает полиномы с наилучшей сходимостью, установлен итерационный процесс вычислений, рассчитанный на использование электронных цифровых вычислительных машин (рис. 2). Полученные при этом тригонометрические полиномы имеют улучшенную сходимость по сравнению с полиномами, найденными при равномерном разбиении контура. Процесс повторяют до тех пор пока точки, полученные при синтезе, будут отличаться от точек контура на заданную величину. При этом на каждом этапе количество гармоник увеличивается на единицу, а выбор гармоник осуществляется по максимальным значениям их коэффициентов.

За счет такого итерационного процесса можно значительно повысить точность воспроизведения контура (рис. 3) при уменьшенном количестве членов полиномов (1). Точность аппроксимации оценивали, определяя величину перпендикуляра, опущенного из точки приближенного контура на заданный контур.

Возникает вопрос о минимальном количестве точек интерполяции на контуре. Так как кривые, получающиеся в результате сложения нескольких синусоид с различными частотами, являются плавными функциями, то и результирующая кривая имеет плавный вид. Общее правило: количество точек выбирают таким образом, чтобы в промежутке между ними характер кривой не изменялся. Обычно при гармоническом анализе мебельных деталей достаточно иметь 40—50 точек на контуре.

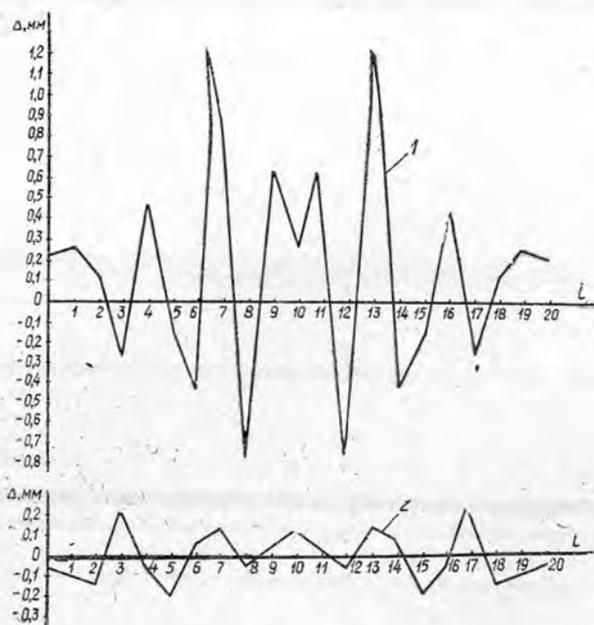
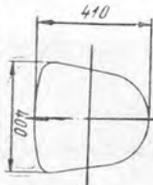
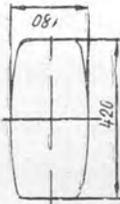
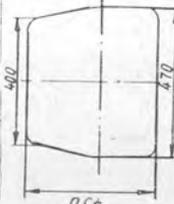
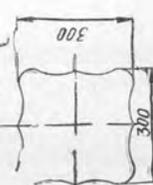


Рис. 3. Точность воспроизведения контура спинки стула.

1 — синтез семи гармоник из гармонического анализа при равномерном разбиении контура; 2 — синтез семи гармоник из гармонического анализа после улучшения сходимости.

Таблица 1

Детали	Чертежи деталей	Уравнение контура	Количество точек на контуре	Максимальное отклонение от заданного контура
Царга стула		$x = 208,6 \sin t - 15,5 \sin 2t + 12,9 \sin 3t + 0,2 \sin 4t - 5,3 \sin 5t + 2,4 \sin 6t - 0,4 \sin 7t - 0,8 \sin 8t + 0,44 \sin 9t - 0,2 \sin 10t$ $y = 213,9 \cos t + 0,13 \cos 2t - 8 \cos 3t + 10,8 \cos 4t - 2,1 \cos 5t - 2,6 \cos 6t + 1,2 \cos 7t - 0,36 \cos 8t + 0,27 \cos 9t - 0,2 \cos 10t$	40	$\pm 0,25$
Спинка стула		$x = 175,4 \sin t - 44,7 \sin 3t - 3,3 \sin 5t - 4,3 \sin 9t + 2,8 \sin 11t - 0,75 \sin 13t - 0,9 \sin 19t$ $y = 107,75 \cos t - 23,4 \cos 3t + 8,25 \cos 5t - 3,5 \cos 7t + \cos 9t + 0,2 \cos 15t - 0,15 \cos 17t$	40	$\pm 0,25$
Щит спинки и сиденья театрального кресла		$x = 257,5 \sin t + 11 \sin 3t + 10 \sin 4t - 14,7 \sin 5t + 4 \sin 6t - 7,5 \sin 7t - 3 \sin 8t + 1,5 \sin 9t - 1,5 \sin 10t + 2,5 \sin 12t$ $y = 251 \cos t + 16,3 \cos 2t - 16,4 \cos 3t - 14,8 \cos 5t - 4,7 \cos 6t + 1,5 \cos 7t + 7,5 \cos 9t + 1,5 \cos 10t - 3 \cos 11t + 1,5 \cos 12t$	46	$\pm 0,25$
Заглушина дверки (деталь художественной мебели)		$x = 171,5 \sin t + 18,9 \sin 3t - 8,6 \sin 5t - 4 \sin 7t + 4,4 \sin 9t - 0,9 \sin 11t - 0,4 \sin 13t - 1,2 \sin 15t + 1,3 \sin 17t - 0,5 \sin 19t$ $y = 171,5 \cos t - 18,9 \cos 3t - 8,6 \cos 5t - 4 \cos 7t + 4,4 \cos 9t + 0,9 \cos 11t - 0,4 \cos 13t + 1,2 \cos 15t + 1,3 \cos 17t + 0,5 \cos 19t$	40	$\pm 0,25$

Для подтверждения вышеизложенной теории произведен при помощи ЭЦВМ «Промінь» гармонический анализ четырех характерных контуров мебельных деталей. Результаты сведены в табл. 1.

Точность воспроизведения контуров зависит от точности счета на ЭЦВМ, от габаритов деталей и находится в пределах 1/3 поля допуска на размеры этих деталей. При необходимости точность легко повысить, увеличивая количество членов тригонометрических полиномов.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. М. Карелин. О кинематических методах обработки деталей с криволинейными сечениями. «Приборостроение», 1956, № 6. [2] В. В. Рукин, И. В. Батин. Установка для механизации изготовления деталей треугольного профиля на основе теории эпициклических кривых. [3] М. Г. Серебрянников. Гармонический анализ. М., ОГИЗ, Гостехиздат, 1948.

Поступила 25 марта 1974 г.

УДК 634.0.812

### ВЛИЯНИЕ ПРЕССОВАНИЯ НА ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ В ДРЕВЕСИНЕ БЕРЕЗЫ

Л. А. БЯЛЬСКИЙ

Воронежский лесотехнический институт

Приведены результаты сравнительного исследования внутреннего трения в натуральной и прессованной древесине березы вибрационным методом. Описана методика определения реологического параметра внутреннего трения по осциллограммам затухающих колебаний. Установлено, что прессование оказывает существенное влияние на количественный и качественный характер внутреннего трения в древесине.

Внутреннее трение в натуральной и прессованной древесине, его величина и характер являются не только важными характеристиками физико-механических свойств, но и составляют основу прочностных расчетов деталей машин и строительных конструкций в динамических режимах нагружения.

Исследованиям внутреннего трения в натуральной древесине посвящена обширная литература, обобщенная Е. С. Сорокиным в его монографии [6]. Реологический характер внутреннего трения в древесине сосны изучен Я. Я. Улле [7].

В связи с дальнейшей разработкой методов уплотнения и модификации древесины и внедрения ее в качестве конструкционного материала в различные отрасли машиностроения становится актуальным вопрос о влиянии прессования на величину и реологический характер сил внутреннего трения в древесине. Цель наших опытов — провести сравнительное исследование величины и характера внутреннего трения в натуральной и прессованной древесине березы исходя из гипотезы упругого гистерезиса [5].

Исследовали образцы из натуральной древесины березы плотностью  $0,64 \text{ г/см}^3$  в состоянии воздушно-сухой влажности, а также из древесины березы одноосного прессования, характеристики которой соответствовали требованиям ГОСТа 9629—66. Форма и размеры ( $250 \times 30 \times 4 \text{ мм}$ ) расчетной части образцов из натуральной и прессованной древесины были одинаковы. Консольные образцы закрепляли на опорном устройстве специальной установки [1] и вводили в резонансный режим колеблющимся столбом воздуха от динамического громкоговорителя, на который подавался через усилитель типа 90 У-2 сигнал генератора звуковых частот ГЗ-33. Амплитуду колебаний образцов измеряли

ламповым милливольтметром ВЗ-2А на выходе тензометрического усилителя ТЗД 1-3, куда поступал сигнал от пары тензорезисторов, наклеенных на противоположные грани образцов. Частоту колебаний образцов измеряли электронно-счетным частотомером ЧЗ-4А. В качестве меры внутреннего трения был принят коэффициент поглощения  $\psi$ , величину которого определяли резонансным методом на уровне половины амплитуды колебаний по формуле [4]

$$\psi = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta f}{f_0}, \quad (1)$$

где  $f_0$  и  $\Delta f$  — соответственно основная резонансная частота и разность боковых частот.

Результаты измерений величины внутреннего трения в натуральной и прессованной древесине березы после статистической обработки приведены в табл. 1; при этом существенность различия устанавливали по принятому в лесной промышленности критерию существенности  $t > 3$  [3]. Из приведенных в табл. 1 данных следует, что в области уплотнения  $0,64-1,10 \text{ г/см}^3$  величина внутреннего трения в древесине снижается в среднем на 25%, что свидетельствует о повышении упругости и прочности материала за счет спрессовывания.

Таблица 1

Материал	Коэффициент поглощения						
	$M$	$\pm \sigma$	$\pm m$	$v, \%$	$p, \%$	$m_{\Delta}$	$t$
Древесина натуральная	0,105	0,012	0,0038	11,0	3,6	0,006	3,7
Древесина прессованная	0,083	0,014	0,0047	16,8	5,3		

В дальнейшем изучали вопрос о влиянии прессования на характер диссипативных сил в древесине березы на основе энергетического метода, описанного Я. Г. Пановко. Согласно работе [5], сила внутреннего трения в материале

$$R = ba^n \sqrt{1 - \left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^2},$$

где  $n$  и  $b$  — соответственно реологический и гистерезисный параметры системы.

При  $n = 1$  реологическая модель материала включает в себя линейно вязкие элементы. При  $n \neq 1$  величина внутреннего трения зависит от динамических напряжений [5]. Следовательно, задача сводилась к определению величины реологического показателя для натуральной и прессованной древесины березы при сохранении в качестве базы для сравнения одинаковых по величине динамических напряжений.

В этой серии опытов использовали те же образцы из натуральной и прессованной древесины березы, на свободных концах которых закрепляли одинаковый груз, значительно (в 30 раз) превосходящий вес колеблющейся части самого образца. Это дало возможность рассматривать образец с грузом как систему с одной степенью свободы.

Колебания образцов возникали при резком освобождении последних от нагрузки. Начало процесса колебаний синхронизировали с пуском светолучевого осциллографа Н-700, при помощи которого записывали осциллограммы затухающих колебаний.

Таблица 2

$Y, \text{ мм}$	$\Sigma Y_I$	$\Sigma Y_{II}$	$\Sigma Y_{III}$	$Y \frac{\Sigma Y_{III}}{8}$	$\Delta Y; \eta_i$	$Y_{n+1}; \varepsilon_i$	$\lg \eta_i$	$\lg \varepsilon_i$	$q_i = \eta_i - \eta_0$	$P_i = \varepsilon_i - \varepsilon_0$	$P_i^2$	$P_i q_i$
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
113	219											
106	207	426										
101	198	405	831	103,8	4,6	101,5	0,6628	2,0086	+0,1816	+0,0807	0,006529	0,01466
97	191	389	794	99,2	3,4	97,5	0,5315	1,9890	+0,503	+0,0611	0,003733	0,00307
94	185	376	765	95,8	3,3	94,2	0,5185	1,9741	+0,0373	+0,0462	0,002134	0,00172
91	179	364	740	92,5	3,0	91,0	0,4771	1,9590	-0,0041	+0,0311	0,000937	0,00013
88	173	352	716	89,5	1,2	88,9	0,0792	1,9489	-0,4020	+0,0210	0,000441	0,00844
85	166	339	691	88,3	5,0	85,6	0,6960	1,9325	+0,2148	+0,0046	0,000021	0,00099
81	159	325	664	83,0	3,3	81,4	0,5185	1,9106	+0,0373	-0,0173	0,000299	0,00065
78	154	313	638	79,7	2,6	78,4	0,4150	1,8943	-0,0662	-0,0336	0,001129	0,00222
76	150	304	617	77,1	2,5	75,9	0,3979	1,8802	-0,0833	-0,0477	0,002275	0,00397
74	143	293	597	74,6	3,1	73,5	0,4914	1,8663	+0,0102	-0,0616	0,003795	0,00062
69	143	279	572	71,5	3,2	69,9	0,5051	1,8445	+0,0239	-0,0834	0,006956	0,00199
67	136	279	547	68,3								
65	132											
							$\Sigma 5,2930$	$\Sigma 21,2080$	$\Sigma +0,0002$	$\Sigma +0,0011$	$\Sigma 0,028079$	$\Sigma 0,03847$

Величины нормальных напряжений в сечении каждого из образцов поддерживали постоянными и равными  $80 \text{ кг/см}^2$ . Реологический параметр натуральной и прессованной древесины определяли по осциллограммам затухающих колебаний. Так как сила внутреннего трения, в соответствии с принятой гипотезой [5], есть степенная функция амплитуды деформации (напряжения), то неизвестный показатель степени можно найти, если эту функцию построить в логарифмических шкалах. При этом график степенной функции принимает вид прямой. Способом наименьших квадратов находили координаты точек прямой, в уравнение которой входит искомый параметр [2].

Пример расчетов реологического показателя по осциллограмме затухающих колебаний приведен в табл. 2 для образца из натуральной древесины березы, где графы I—V содержат результаты измерений выпрямленных амплитуд колебаний. В графах VI и VII приведены величины убывания амплитуд и среднее значение амплитуды за один период колебаний. Величины, входящие в графы VIII и IX, представляют собой ряд точек прямой в координатах  $\varepsilon - \eta$ . Результаты обработки значений, представленных точками, способом наименьших квадратов приведены в графах X—XIII. Показатель нелинейности находят по данным графа XII—XIII. Подобным образом были определены реологические показатели для всех образцов.

Статистические величины реологического параметра приведены в табл. 3, из данных которой следует, что показатель нелинейности за счет прессования древесины существенно снижается с достоверностью на уровне 0,99 [3].

Таблица 3

Материал	Реологический показатель						
	$M$	$\pm \sigma$	$\pm m$	$\sigma, \%$	$p, \%$	$m_{\Delta}$	$t$
Древесина натуральная	1,3570	0,016	0,011	1,2	1,0	0,0134	25
Древесина прессованная	1,0211	0,039	0,013	3,8	1,3		

Проведенные нами исследования не подтвердили выводов Я. Я. Улле, согласно которым сила внутреннего трения в натуральной древесине прямо пропорциональна амплитуде напряжений в степени 1,04. Полученное значение показателя нелинейности для натуральной древесины березы, равное 1,36, говорит о том, что для более точного описания ее реологического поведения необходимо применять нелинейные теории внутреннего трения. Для прессованной древесины березы, в связи с незначительным отклонением реологического параметра от единицы, линейные теории внутреннего трения (Кельвина — Фойгта, Максвелла) сохраняют свою справедливость.

Следовательно, прессование существенно влияет как на количественные, так и качественные характеристики внутреннего трения в древесине.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Л. А. Бяльский. Установка для исследования демпфирующей способности прессованной древесины. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 1969. [2]. Р. С. Гутер, Б. В. Овчинский. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. «Наука», М., 1970. [3]. М. Л. Дворецкий. Пособие по вариационной статистике. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1971. [4]. Н. А. Крылов. Электроакусти-

ческие и радиометрические методы испытания материалов и конструкций. Стройиздат, М., 1964. [5]. Я. Г. Пановко. Об учете гистерезисных потерь в задачах прикладной теории упругих колебаний. ЖТФ, т. 23, вып. 5, 1953. [6]. Е. С. Сорокин. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем. Стройиздат, М., 1960. [7]. Я. Я. Улье. Гистерезисные потери в дереве при асимметричном цикле. В кн.: Вопросы динамики и динамической прочности. Изд. АН Латвийской ССР, Рига, 1954.

Поступила 18 июня 1974 г.

УДК 634.0.865

## РАВНОВЕСНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ЛУДП ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

З. И. ПОДОЙНИКОВА

Уральский лесотехнический институт

Описана методика и приведены результаты экспериментов по определению устойчивой влажности десорбции лигноуглеводных древесных пластиков из смеси дробленых отходов сосновой и лиственничной древесины при температуре по сухому термометру 23, 50, 60, 70, 80 и 90°C и относительной влажности воздуха 20, 40, 60, 80%.

Для решения вопроса об оптимальных условиях хранения, обработки и, в особенности, для правильного проведения процесса кондиционирования лигноуглеводных древесных пластиков (ЛУДП) необходимо иметь диаграмму их равновесной влажности в различных температурно-влажностных условиях. При длительной выдержке плит в среде с постоянными значениями температуры и относительной влажности воздуха в них устанавливается устойчивая влажность десорбции (в случае высыхания) или сорбции (в случае увлажнения). Равновесная влажность — среднее арифметическое из этих двух значений влажности для одинаковых условий выдержки.

При кондиционировании пластиков происходит их высушивание, то есть идет процесс десорбции, поэтому определение устойчивой влажности мы проводили при десорбции влаги. Эксперимент вели при температурах по сухому термометру 50—90°C и относительных влажностях агента сушки 20—80%, охватывающих весь диапазон температур и относительных влажностей воздуха, применяемых для кондиционирования ЛУДП. Образцы пластиков из дробленой щепы, получаемой при фрезеровании сосновых и лиственничных энергостолбов, выдерживали в лабораторной камере с автоматическим регулированием режима по сухому и мокрому термометрам.

Величину изменения влажности материала и степень близости состояния равновесия между влажностью плиты и влагосодержанием воздуха устанавливали в результате периодических взвешиваний. Размеры образцов были выбраны с таким расчетом, чтобы взвешивание их можно было производить на встроенных в камеру весах ВНЦ-2 (точность 1 г). Взвешивание образцов в камере обеспечивало постоянство режима, а также исключало влияние резких колебаний окружающей среды на материал при его изъятии из камеры.

Плиты после запрессовки разрезали на образцы 50×(350 ÷ 400)×10 мм, которые выдерживали в камере до постоянного веса, затем из них готовили образцы размером 50×50×10 мм и определяли влажность весовым способом. В опытах использовали полностью всю кондиционную часть плиты (400×400×10 мм). При соблюдении условий рандомизации было испытано 380 образцов.

При температурах по сухому термометру 80—90°C продолжительность опытов в среднем составляла около 50 час, а при температурах 50—60°C — около 100 час, в том числе продолжительность выдержки образцов при постоянном весе 24—52 часа. Время достижения образцами постоянного веса сокращается (по сравнению с продолжительностью в комнатных условиях) за счет применения в камере принудительной циркуляции, обеспечивающей более быстрое высыхание, чем при естественной циркуляции.

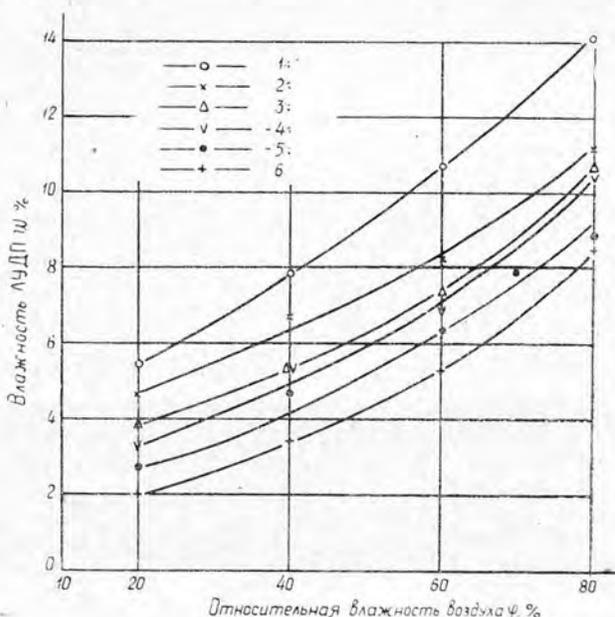


Рис. 1.  $t$ - $\varphi$ - $\omega$ -диаграмма для ЛУДП.

По экспериментальным данным строили кривые зависимости устойчивой влажности плит от температуры и относительной влажности воздуха —  $t$ - $\varphi$ - $\omega$ -диаграмму (рис. 1, табл. 1). Каждое значение влажности плит — среднее арифметическое из 14—20 образцов. Статистическая обработка результатов показала, что среднее квадратическое отклонение значений влажности от среднего арифметического не превышает 0,5%, вариационный коэффициент составляет 2—8%, показатель точности опыта равен 1—2%.

Таблица 1

Температура по сухому термометру, °C	Влажность ЛУДП, % при относительной влажности воздуха, %			
	20	40	60	80
50	4,6	6,7	8,3	11,2
60	3,9	5,4	7,4	10,7
70	3,3	5,4	7,0	10,5
80	2,7	4,7	6,4	8,9
90	2,0	3,4	5,3	8,5

На рис. 1 приведена также зависимость устойчивой влажности десорбции пластиков при комнатной температуре ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Образцы размером  $50 \times 50 \times 10$  мм выдерживали в эксикаторах с растворами серной

кислоты, обеспечивающими относительную влажность воздуха 5, 20, 40, 60 и 80%. Образцы взвешивали на аналитических весах (точность до 0,0001 г) через 1; 5; 10; 20 суток и далее через каждые 10 суток. Продолжительность этого опыта 220 суток. В исследованном диапазоне температур и влажностей воздуха пластики имеют максимальную влажность (14,1%) при температуре 23°C и относительной влажности воздуха 80%, а минимальную (2,0%) — при 90°C и относительной влажности воздуха 20%.

Построенная диаграмма может быть использована для обоснования выбора режима кондиционирования плит и для предсказания их поведения при изменении условий окружающей среды.

Поступила 29 октября 1973 г.

УДК 674.053 : 621.934

## ТЕРМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОДГОТОВКИ КРУГЛЫХ ПИЛ К РАБОТЕ

Е. М. БОРОВИКОВ, Б. Ф. ОРЛОВ

Архангельский лесотехнический институт

Приведены результаты работы по созданию нормированных остаточных напряжений в дисках в процессе отпуска. Показано, что на остаточные напряжения влияют как градиент температур по радиусу дисков, так и порядок отпуска отдельных его зон.

В ранее проведенной работе [1] было показано, что равномерный отпуск закаленных на мартенсит дисков полностью снимает закалочные напряжения. Однако во время отпуска закаленной стали при различных температурах возникают фазы с разными удельными объемами [2]. Если отпускать отдельные зоны закаленного диска при различных температурах, то в диске должны возникнуть остаточные напряжения, зависящие как от температуры, так и от порядка отпуска зон. Изучение этого вопроса представляет определенный интерес тем более, что при термической обработке дисков пил наблюдается значительное коробление дисков, вызванное термическими остаточными напряжениями.

Лабораторные исследования мы проводили на дисковых образцах толщиной 1 мм и диаметром 100 мм с центральным отверстием диаметром 8 мм. Перед отпуском образцы закаливали в медных шайбах до твердости 62—64 HRC. Было спланировано и проведено шесть серий экспериментов (табл. 1). В первых трех сериях исследовали влияние структурных и тепловых процессов при отпуске на остаточные напряжения, а в 4, 5 и 6 сериях — влияние температурного перепада по радиусу диска на остаточные напряжения (без фазовых превращений).

Отпуск периферийной части дисков проводили в электропрессе, шайбы которого в центральной части имели выточку диаметром 80 мм. Отпуск всего диска проводили в чугунных шайбах, предварительно нагретых до необходимой температуры в электропечи. Температуру и время отпуска (табл. 1) выбирали с учетом получения твердости дисков 39—44 HRC, установленной для круглых пил ГОСТа 980—69. Напряжения, возникающие в дисках в результате двойного отпуска или отпуска и повторного нагрева, определяли методом Калакуцкого — Давиденкова (путем вырезки колец).

После отпуска наружной кольцевой части дисков при 500°C все диски приобретали тарельчатую форму со стрелой прогиба 1,5—2 мм,

Таблица 1

№ серии	Условия и режим проведения отпуска дисков	Количество образцов
1	Отпуск периферийной* части диска при 500°C (2 мин) и последующий отпуск всего диска при 445°C (10 мин)	5
2	Отпуск периферийной части диска при 500°C (2 мин) и последующий отпуск всего диска при 470°C (10 мин)	4
3	Отпуск всего диска при 445°C (10 мин) и последующий отпуск периферии диска при 500°C (4 мин)	4
4	Отпуск всего диска при 500°C (10 мин) и последующий нагрев периферийной части до 500°C (1 мин)	4
5	Отпуск всего диска при 500°C (10 мин) и последующий нагрев периферийной части до 460°C (1 мин)	4
6	Отпуск всего диска при 500°C (10 мин) и последующий нагрев периферийной части до 400°C (1 мин)	4

\* Под периферийной частью диска подразумевают внешнюю кольцевую часть диска 80—100 мм.

что свидетельствует о наличии значительных остаточных напряжений растяжения в периферийной зоне. После второго отпуска дисков в чугунных шайбах в зажатом состоянии при температуре 445°C тарельчатость дисков уменьшалась до 0,2—0,5 мм, но полностью не устранялась,

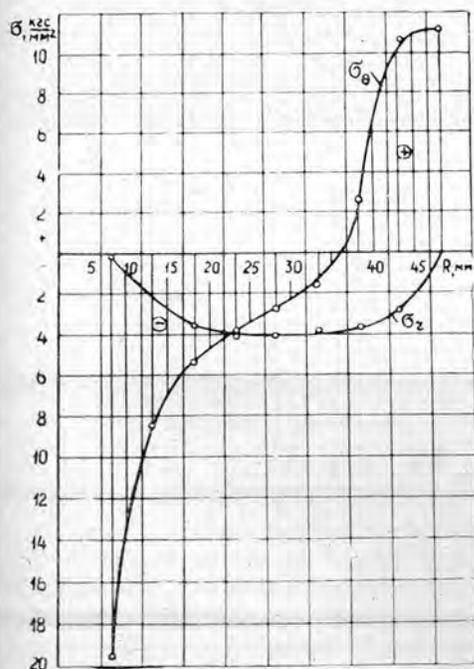


Рис. 1. Остаточные напряжения в дисках после отпуска периферийной части при 500°C и последующего отпуска всего диска при 445°C.

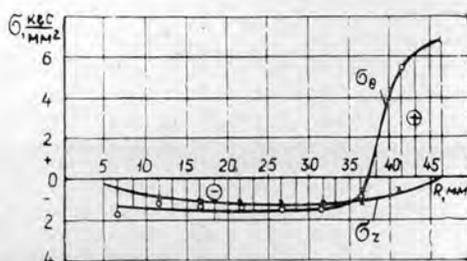


Рис. 2. Остаточные напряжения в дисках после отпуска периферийной части при 500°C и последующего отпуска всего диска при 470°C.

следовательно, и напряжения не исчезли. Измерения показали, что тангенциальные остаточные напряжения растяжения в наружной зоне равны 11 кгс/мм<sup>2</sup>, а напряжения сжатия в центральной зоне достигают 20 кгс/мм<sup>2</sup> (рис. 1).

Повышение температуры отпуска всего диска до 470°C привело к выравниванию дисков до плоского состояния. Это говорит о том, что

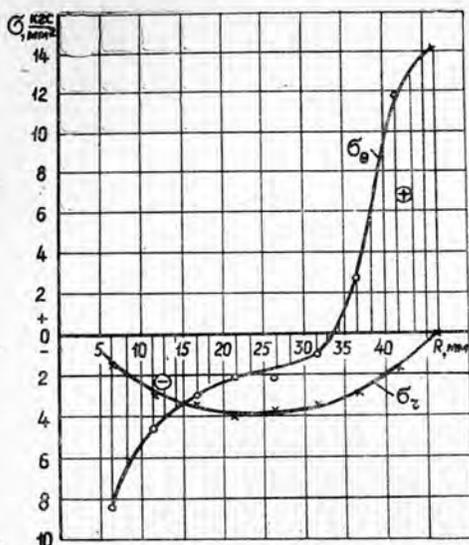


Рис. 3. Остаточные напряжения в дисках после отпуска всего диска при 445°C и последующего отпуска периферийной части при 500°C.

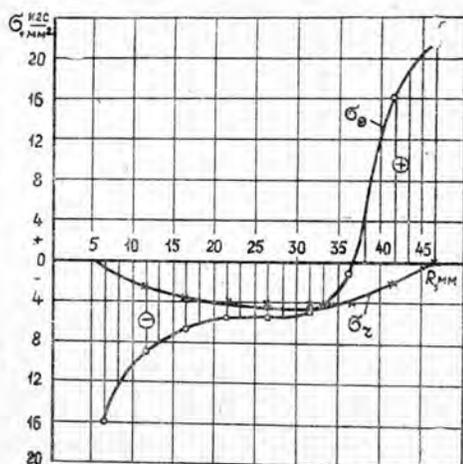


Рис. 4. Остаточные напряжения в дисках после отпуска всего диска при 500°C и последующего нагрева периферийной части до 500°C.

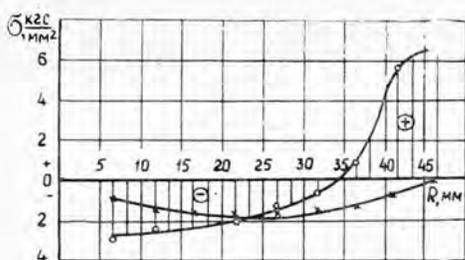


Рис. 5. Остаточные напряжения в дисках после отпуска всего диска при 500°C и последующего нагрева периферийной части до 460°C.

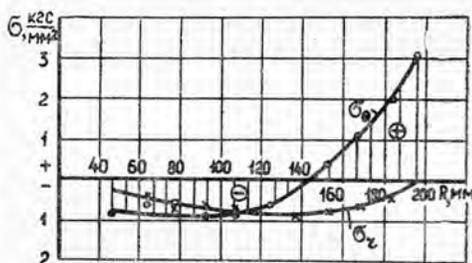
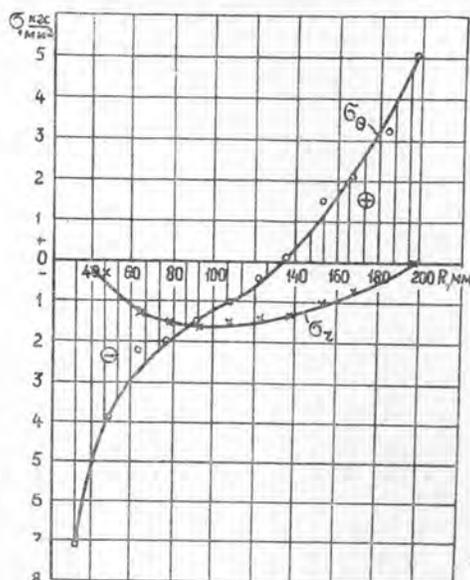


Рис. 6. Остаточные напряжения в дисках после отпуска при 520°C и последующего нагрева периферийной части до 430°C.

остаточные напряжения стали меньше, чем в первом случае (рис. 2). Из рис. 1 и 2 видно, что тангенциальные напряжения меняют знак на одном и том же диаметре, что свидетельствует об идентичности зон нагрева в обоих случаях отпуска. Следовательно, отпуск всего диска при повышенных температурах приводит диски в менее напряженное состояние, чем отпуск при более низких температурах.

Третья серия экспериментов показала, что в случае отпуска периферийной части дисков при более высокой температуре, чем отпуск всего диска, появляются высокие остаточные напряжения (рис. 3). Можно предположить, что температурный перепад по радиусу дисков сильно влияет на их напряженное состояние. Для учета этого влияния мы провели три серии экспериментов (4, 5 и 6), заключающиеся в нагреве периферийной части отпущенных при 500°C дисков до различных температур — от 400 до 500°C.

Рис. 7. Остаточные напряжения в дисках после отпуска при  $520^{\circ}\text{C}$  и последующего нагрева периферийной части до  $460^{\circ}\text{C}$ .



Так как первый отпуск дисков проводили при  $500^{\circ}\text{C}$ , то вторичный нагрев периферийной части дисков до более низких температур не вызывал фазовых превращений в стали и, следовательно, были исследованы чисто температурные напряжения. Эксперименты показали, что при нагреве периферийной зоны дисков до  $400^{\circ}\text{C}$  в дисках не возникло остаточных напряжений; нагрев до  $460^{\circ}\text{C}$  вызвал напряжения растяжения в периферийной зоне до  $7 \text{ кгс/мм}^2$  (рис. 5), а нагрев до  $500^{\circ}\text{C}$  привел к появлению в периферийной зоне напряжений растяжения до  $22 \text{ кгс/мм}^2$  (рис. 4). Следовательно, при отпуске дисков необходимо обязательно учитывать температурный перепад по радиусу дисков, так как при высоких температурах нагрева периферийной зоны на общее напряженное состояние дисков начинают в значительной мере влиять и температурные напряжения.

Исходя из полученных данных, в заводских условиях была произведена термическая обработка дисков пил диаметром  $450 \text{ мм}$  и толщиной  $2,3 \text{ мм}$ . Диски пил подвергали ступенчатой закалке и равномерному отпуску в шайбах при  $520^{\circ}\text{C}$ , а затем нагревали периферийную зону (шириной  $0,2$  радиуса пилы) одной группы пил до  $430^{\circ}\text{C}$ , а периферийную зону второй группы пил до  $460^{\circ}\text{C}$ . В результате проведенной обработки пилы первой и второй групп имели напряженное состояние, показанное на рис. 6 и 7. Из эпюр напряжений видно, что напряжения растяжения в периферийной зоне пил находились в пределах  $3\text{--}5 \text{ кгс/мм}^2$ , то есть в тех же пределах, что и при оптимальных режимах проковки или вальцевания. Распределение напряжений по полотну пилы в результате термической обработки носит более плавный характер, чем, например, при вальцевании, что должно привести пилы к большей устойчивости при пилении.

Для оценки работоспособности полученных пил были произведены опытные распиловки клееных щитов на станке с ручной подачей (на ЛДК им. В. И. Ленина) и досок и брусьев на обрезном и многопильном станках (на Цигломенском ЛДК). В процессе распиловки все опытные пилы (7 шт.) показали хорошую устойчивость в работе и давали ровный, чистый пропилен. После 12—15 переточек пилы сохранили свою работоспособность.

### Выводы

1. В дисках пил при отпуске можно создавать нормированные остаточные напряжения.

2. Величина и характер остаточных напряжений зависят от температуры нагрева периферийной зоны и ее ширины. Температура нагрева может колебаться от 400 до 500°C и более и зависит от величины требуемых напряжений и времени выдержки. Чем шире нагреваемая периферийная зона, тем ближе к центру диска сменится знак напряжений.

3. Термическая подготовка пил к работе может заменить проковку и вальцевание и может быть использована на заводе-изготовителе круглых пил и в некоторых случаях на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях.

### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Б. Ф. Орлов. Влияние отпуска на остаточные напряжения в закаленных дисках. Труды АЛТИ, XXXV, Архангельск, 1972. [2]. Я. Р. Раузин. Термическая обработка хромистой стали. Машгиз, 1963.

Поступила 5 апреля 1974 г.

УДК 674.049.3

## К ВОПРОСУ ОБ ОГНЕЗАЩИТЕ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ КЛЕЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. М. СЕМЕНОВА, А. А. ЛЕОНОВИЧ

Ленинградская лесотехническая академия

Древесину пропитывали раствором из кислоты и органических оснований, сушили и термообработывали при 140 и 160°C. Определяли влияние расхода огнезащитного состава на снижение собственной прочности древесины, прочность склеивания и смачиваемость. Установили, что термообработка по оптимальному режиму повышает прочностные свойства огнезащитной древесины и увеличивает прочность склеивания.

Обработка древесины, предназначенной для использования в конструкциях, замедлителями горения существенно повышает ее огнестойкость. Известные огнезащитные составы содержат фосфорно- и сернокислый аммоний, буру и борную кислоту, галогены и другие водорастворимые соединения. Для достижения стабильной огнезащиты их необходимо закрепить в древесине. Кроме того, огнезащитные составы не должны отрицательно влиять на способность древесины к склеиванию в случае изготовления клееных конструкций.

При изготовлении древесных плит нашел применение огнезащитный состав на основе ортофосфорной кислоты и органических оснований [1], [4]. Этот состав водорастворим, что допускает обработку древесины либо методом глубокой пропитки, либо методом горяче-холодных ванн. При нагревании пропитанной древесины свыше 150°C создаются условия для взаимодействия состава с компонентами древесины и для его перехода в водонерастворимое состояние. Водные вытяжки измельченных образцов пропитанной древесины имеют нейтральную реакцию.

Данное исследование проведено с целью определения влияния огнезащитного состава на степень огнезащитности и собственную проч-

ность древесины, а также с целью определения способности огнезащитной древесины к склеиванию.

Огнезащитный состав, состоящий (в весовых частях) из ортофосфорной кислоты 9,8; мочевины 18,0; дициандиамида 12,6, приготавливали кипячением водного раствора 35%-ной концентрации до значения  $pH = 4$ . Образцы древесины из заболони сосны пропитывали при температуре  $60 \pm 2^\circ C$  в течение 2,5—44 час, сушили и термообработывали при температуре  $140-170^\circ C$ . Требуемое время пропитки определяли на основании найденных значений потери массы при огневом испытании образцов древесины, помещенных в керамический короб. Испытания проводили по ГОСТу 16363—70 «Древесина. Метод испытания огнезащитных свойств пропиток и покрытий». Прочностные испытания древесины проводили по ГОСТу 16483.5—70 «Древесина. Метод определения предела прочности при скальвании вдоль волокон» и ГОСТу 15613—70 «Древесина клееная. Метод испытания клеевого соединения на скальвание вдоль волокон». В каждом опыте испытывали 15 параллельных образцов в трехкратной повторности. Результаты обрабатывали методом вариационной статистики, показатель точности составлял менее 5% (значения среднего квадратического отклонения  $S$  проведены одновременно с соответствующими значениями среднего арифметического). Содержание огнезащитного состава в предповерхностном слое рассчитывали по данным элементного анализа на фосфор, путем сжигания проб в колбе Кьельдаля и последующего калориметрирования остатка с молибдатом аммония [2]. Смачиваемость определяли методом измерения краевого угла смачивания по одной из методик [5].

Таблица 1

Продолжительность пропитки, час	Привес огнезащитного состава, %	Концентрация огнезащитного состава в предповерхностном слое, %	Потери массы при огневом испытании, %
2,5	3,85	6,10	24,30
10	5,70	8,00	16,80
30	7,48	12,96	13,20
44	8,00	19,46	8,90
Непропитанная древесина	—	—	68,70

В табл. 1 приведены данные по поглощению огнезащитного состава (по сухому веществу) и результаты огневых испытаний образцов.

Путем послойного анализа пропитанных образцов было найдено, что основное количество огнезащитного состава содержится в предповерхностном слое глубиной 3 мм, а далее содержание огнезащитного состава в древесине снижается. Показательны в этом отношении данные по скорости горения образцов, полученных в виде срезов (толщиной  $1 \pm 0,15$  мм) из древесины, пропитанной в течение 44 час (рис. 1). При зажигании образцы находились в горизонтальном положении. По мере удаления среза от поверхности скорость горения повышается и, наконец, соответствует скорости горения таких же срезов из непропитанной древесины, составляя 2,35 мм/сек. Самозатухание срезов наблюдается при скорости горения менее 0,8 мм/сек.

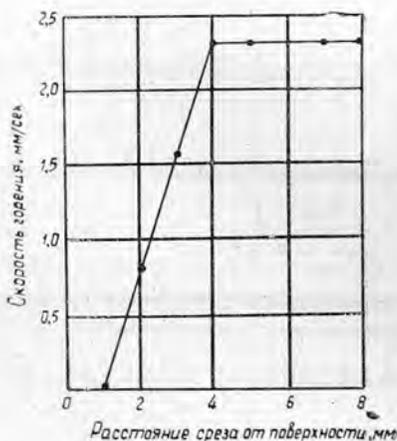


Рис. 1. Изменение скорости горения вырезанного образца в зависимости от расположения его в пропитанной древесине.

Глубина пропитки определяется геометрическими размерами образца и условиями проведения процесса. Изменяя способ пропитки образцов, можно увеличить глубину и повысить равномерность проникновения огнезащитного состава. Тем не менее, приведенные в табл. 1 данные показывают, что на образцах, пропитанных в течение 44 час, можно изучать влияние огнезащитного состава на прочность склеивания и собственную прочность древесины, поскольку концентрация огнезащитного состава в предповерхностном слое соответствует степени огнезащитности древесины, когда древесина классифицируется как трудносгораемая (потеря массы не более 9%). Древесина, при огневом испытании которой теряется более 9%, но менее 30% исходной массы, относится к трудновоспламеняющимся материалам.

Следовательно, огнезащитный состав на основе ортофосфорной кислоты и органических оснований эффективно снижает горючесть древесины при сравнительно низком расходе его. В частности, при расходе 8% образцы успешно выдерживают огневые испытания по ГОСТу 16363—70 и относятся к трудносгораемым (трудногорючим).

Собственная прочность древесины после пропитки изменяется незначительно. Были получены следующие значения предела прочности при скалывании вдоль волокон ( $\text{кгс/см}^2$ ): для непропитанной древесины  $\tau_{\text{ск}} = 84,80$ ;  $S = 8,31$ ; для пропитанной с привесом огнезащитного состава 8%  $\tau_{\text{ск}} = 78,35$ ;  $S = 7,46$ ; для пропитанной с привесом огнезащитного состава 8% и термообработанной при температуре  $160^\circ\text{C}$   $\tau_{\text{ск}} = 80,15$ ;  $S = 8,10$ .

Из приведенных данных видно, что если образцы были подвергнуты термообработке, то пропитка древесины приводит к незначительному уменьшению прочности.

Одновременно было изучено влияние огнезащитного состава и температуры термообработки на прочность склеивания огнезащитной древесины. Склеивание производили по поверхностному слою в условиях, когда огнезащитный состав может отрицательно влиять на собственную прочность древесины и прочность клеевого шва.

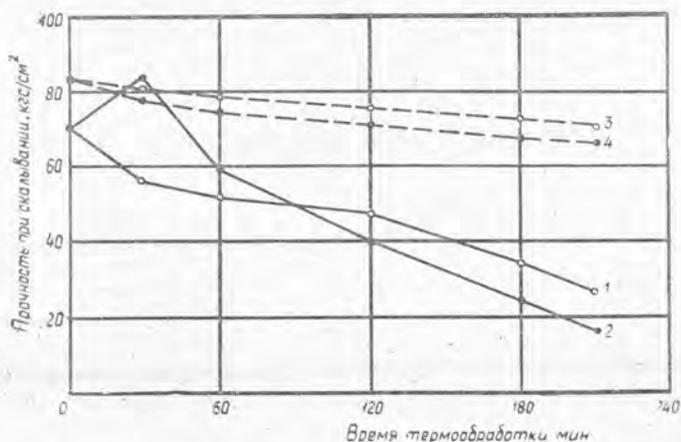


Рис. 2. Изменение прочности склеивания огнезащитной (сплошные линии) и контрольной (пунктирные линии) древесины в зависимости от времени термообработки при разных температурах.

1, 3 —  $140^\circ\text{C}$ ; 2, 4 —  $160^\circ\text{C}$ .

На рис. 2 приведены результаты определения прочности склеивания огнезащищенных образцов при скалывании вдоль волокон. Образцы содержали в предповерхностном слое огнезащитный состав в количестве 19,5% и были термообработаны при 140 и 160°C. Склеивание производили клеем марки КБ-3 с подслоем из отвержденной пленки клея марки БФ-2. Так же были склеены контрольные образцы из древесины, термообработанной в аналогичных условиях. При испытании разрушение образцов во всех случаях происходило по древесине. Термообработка огнезащитных образцов в течение 30 мин при 160°C приводит к повышению прочности склеивания, главным образом, за счет увеличения собственной прочности древесины. Повышение прочности склеивания при температуре термообработки 160°C и продолжительности 30 мин было доказано методом сравнения средних при неизвестных дисперсиях по величине  $t$ -отношения

$$t_{\text{расч}} = \frac{\bar{\tau}'_{\text{ск}} - \bar{\tau}''_{\text{ск}}}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{82,00 - 66,10}{8,98 \sqrt{\frac{1}{15} + \frac{1}{15}}} = 5,25,$$

- где  $\bar{\tau}'_{\text{ск}}$  — предел прочности при скалывании образцов, термообработанных в течение 30 мин;  
 $\bar{\tau}''_{\text{ск}}$  — предел прочности при скалывании нетермообработанных образцов;  
 $S$  — приведенное эмпирически среднее квадратическое отклонение, рассчитанное по [3];

$t_{\text{табл}} = 2,05$  при  $P = 0,95$  и  $K = n_1 + n_2 - 2 = 28$ , тогда  $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$ .

Это согласуется со взаимодействием огнезащитного состава с компонентами древесного комплекса. Последующее снижение прочности обусловлено деструктивными процессами, протекающими в древесине и инициируемыми огнезащитным составом. Подобное влияние огнезащитного состава на прочность древесноволокнистых плит было показано и объяснено в работе [6].

Время термообработки 30 мин приняли в качестве оптимального. Влияние теплового воздействия на прочность огнезащитной древесины при данной продолжительности термообработки иллюстрируют данные, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Температура термообработки, °C	Предел прочности при скалывании вдоль волокон, кгс/см <sup>2</sup>	
	$\tau_{\text{ск}}$	$S$
140	57,40	3,93
150	62,90	4,90
160	81,70	5,82
170	56,50	3,60

Результаты этой серии опытов хорошо согласуются с данными рис. 2 и служат указанием, что температура термообработки должна составлять 160°C.

Смачиваемость клеем пропитанной и контрольной древесины уменьшается. Это свидетельствует о снижении гидрофильных свойств образцов с увеличением времени термообработки при температуре 160°C

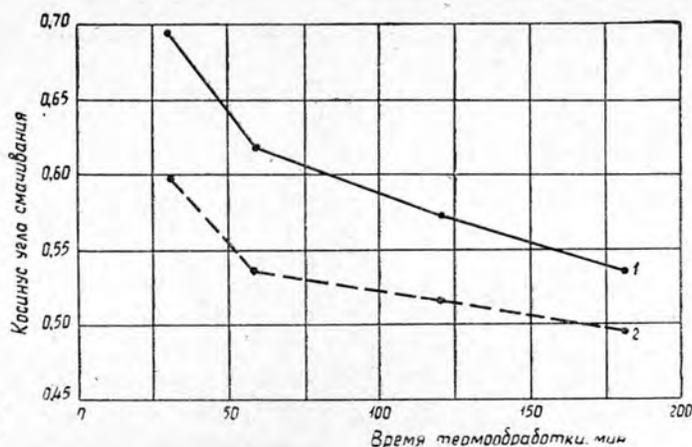


Рис. 3. Изменение смачивающей способности древесины при склеивании клеем БФ-2 в зависимости от времени термообработки при 160°C.

1 — для огнезащитной древесины; 2 — для контрольной, непропитанной.

(рис. 3). Данные получены для клея БФ-2. Это снижение более заметно для огнезащитных образцов, что связано с переходом водорастворимого огнезащитного состава в водонерастворимое состояние и взаимодействием функциональных групп состава с компонентами древесного комплекса.

Таблица 3

Продолжительность запрессовки, час	Содержание огнезащитного состава в предповерхностном слое древесины, %	$\tau_{ск}$ , кг/см <sup>2</sup>	$S$ , кг/см <sup>2</sup>
12	8	57,40	5,30
		61,20	5,53
	19,5	56,10	4,10
		59,30	4,99
	Без пропитки	62,10	5,70
		63,40	5,89
24	8	60,70	7,20
		67,50	5,90
	19,5	60,10	4,93
		66,80	5,83
	Без пропитки	64,70	5,90
		69,20	6,26
48	8	61,00	5,38
		67,70	6,20
	19,5	61,20	5,77
		66,90	6,38
	Без пропитки	65,00	6,60
		71,00	6,60

Примечание. В числителе данные для клея М 19-62; в знаменателе — для клея ФР-12.

Приведенные данные позволяют сделать вывод о том, что обработка древесины огнезащитным составом на основе ортофосфорной кислоты и органических оснований при оптимальном режиме термообработки не существенно изменяет свойства поверхности образцов, сохраняя достаточную прочность древесины и удовлетворительную смачиваемость, и обеспечивает при этом свойство огнезащищенности древесины.

Способность древесины к склеиванию клеями холодного отверждения оценивали в зависимости от содержания огнезащитного состава в предповерхностном слое. Результаты испытаний образцов на скалывание вдоль волокон, склеенных при разном времени выдержки под давлением, приведены в табл. 3.

Проведенные испытания показывают близкое совпадение значений прочностных показателей огнезащищенных и контрольных образцов. В целом результаты данного исследования служат основанием для разработки технологии огнезащиты древесины с применением указанного огнезащитного состава и широкой проверки характеристик клееных конструкций, изготовленных на основе огнезащищенной таким способом древесины.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. А. Леонович. О механизме действия огнезащитного состава. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 4, 1973. [2]. Н. В. Михайлов и др. Метод определения фосфора в полимерах и волокнах на их основе. Журн. «Химические волокна» № 4, 1963. [3]. Л. З. Румишский. Математическая обработка результатов эксперимента. М., 1971. [4]. Н. Я. Солечник, А. А. Леонович. Способ изготовления твердых древесно-волокнистых плит. Авторское свидетельство СССР № 195626. «Бюллетень» № 10, 1967. [5]. Р. А. Фалькович. Скоростной метод определения краевого угла смачивания. Журн. «Текстильная промышленность» № 4, 1954. [6]. A. A. Leonovic, N. I. Solcniik. Über Herstellungstechnologie und Eigenschaften teurreisistenter Holzfaserplatten. «Holztechnologie», 10, 4, 1969, 219—224.

Поступила 24 декабря 1973 г.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 547.992.3

ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
СТРУКТУРНОГО ЗВЕНА ЛИГНИНА  
ПРИ НАГРЕВАНИИ В ЩЕЛОЧНЫХ СРЕДАХЭ. И. ЧУПКА, Л. В. БРОНОВ, Э. С. ДАМБЕРГ, В. А. ДОЛМАТОВ,  
В. М. НИКИТИН

Ленинградская лесотехническая академия

Показано, что при нагревании гидроксилсодержащих модельных соединений лигнина в щелочи появляются функциональные группы, восстанавливающиеся на ртутном капельном электроде, и что между величиной полярографического тока и степенью конверсии мономера в полимер наблюдается линейная зависимость. При добавлении восстановителя хромофорный состав остается неизменным и процессы увеличения МВ подавлены.

Предпосылкой для исследования поведения некоторых модельных соединений структурного звена лигнина послужили полученные нами ранее результаты по изменению молекулярной массы (ММ) фракций диоксанлигнина при нагревании в щелочных средах.

Было показано, что при варках с  $\text{NaBH}_4$  не наблюдается первоначального увеличения ММ лигнина как при обычной натронной варке [7]. Для варок с восстановителями характерно уменьшение концентрации радикалов с увеличением количества добавленного в щелок восстановителя [1], [2].

Позже [3], [8] было отмечено, что при нагревании в щелочных средах увеличение ММ лигнина ингибируется восстановителями тем эффективнее, чем больше отрицательное значение окислительного потенциала восстановителя. Эти данные позволили высказать предположение, что в основе процессов, сопровождающихся увеличением ММ лигнина при щелочных варках, лежат окислительные реакции [7], [9].

Было указано, что по своей способности к восстановлению карбонилсодержащие гваяцильные и фенольные структурные единицы располагаются в соответствии со значением окислительно-восстановительного потенциала в следующий ряд: розоловая кислота 1,4 в; п-бензохинон 1,6 в; ванилин 1,8 в; гваяцилпропанон 1,88 в (при рН = 9).

По всей вероятности, карбонильные группы в лигнине появляются при вторичных изменениях, а в близких к природному препаратах лигнина содержатся, в основном, спиртовые гидроксилы. Наряду со схемой, объясняющей увеличение ММ лигнина при щелочных варках конденсацией бензилспиртовых групп с образованием С—С связи  $\alpha = 5'$  [6], в литературе встречаются указания, что в щелочных растворах окисление ванилинового спирта до ванилина протекает через стадию образования хинонметидов [10]. Возможен путь превращения и через хиноловые перекиси [11]. Чтобы выяснить, какие реакции ответственны за увеличение ММ лигнина и какова роль восстановителей, весьма существенно на примере хотя бы простейших представителей гваяцильного ряда определить, какие из направлений (конденсация или окислительно-

восстановительные превращения) являются определяющими при щелочных варках.

Мы изучали поведение ванилинового спирта,  $\alpha$ -гваяцилпропанола, кониферилового спирта и бензохинона во время натронной варки при 160°C в течение различного времени как без восстановителей, так и с восстановителями (гидразин,  $\text{NaBH}_4$ ). Изменение окислительно-восстановительных свойств и хромофорного состава исследовали методами полярографии и УФ-спектроскопии. Контроль за процессом образования полимера проводили с помощью гель-фильтрации.

### Экспериментальная часть

Варке подвергали 1,5%-ные растворы модельных соединений в 1 н.  $\text{NaOH}$  при заданной температуре в течение разных промежутков времени.

Для полярографического анализа отбирали аликвоты и разводили 1 н.  $\text{NaOH}$  в мерной колбе так, чтобы концентрация растворов по исходному веществу составляла 1 ммоль/л. Полярограммы снимали в двухэлектродной ячейке при  $T = 25 \pm 0,1^\circ\text{C}$  с помощью полярографа LP-60. В качестве индикаторного электрода использовали ртутный капельный электрод. Характеристика капилляра  $m^{2/3} t^{1/6} = 2,57$ . Электродом сравнения служил насыщенный каломельный полуэлемент. Полярографирование растворов проводили после продувания очищенным азотом в течение 15—20 мин.

Для УФ-спектроскопии растворы после нагревания разводили 1 н.  $\text{NaOH}$  в мерной колбе до концентрации  $5 \cdot 10^{-5}$  моль/л по исходному веществу. Спектральные характеристики снимали на спектрофотометре «Спеконд» в кварцевых кюветах ( $l = 1$  см) в диапазоне 200—400 нм.

Для гель-фильтрации растворы щелоков подкисляли до  $\text{pH} = 3$ , отбирали 0,3 мл и разбавляли до 25 мл диметилформамидом (ДМФА). Затем 1 мл полученного раствора вносили в колонку, заполненную гелем, LH-20 ( $H = 38$  см,  $D = 1,8$  см) и элюировали ДМФА со скоростью 3 мл/час. Концентрацию вещества регистрировали по изменению оптической плотности: для бензохинона  $\lambda = 460$  нм, для ванилинового спирта  $\lambda = 282$  нм. Степень конверсии рассчитывали по убыли площади, ограниченной зоной элюирования мономера.

### Обсуждение результатов

На рис. 1 представлено изменение степени конверсии мономеров бензохинона (кривая I) и ванилинового спирта (кривая II) в полимер в зависимости от длительности натронной варки при  $T = 160^\circ\text{C}$ . Результаты показали, что полимеризация хинонов, как это отмечалось ранее [5], и процесс увеличения  $MW$  при нагревании ванилинового спирта протекают весьма интенсивно.

Анализ УФ-спектров показал, что в ходе варки в 1 н.  $\text{NaOH}$  при 160°C ванилиновый спирт претерпевает значительные изменения в хромофорном составе. На рис. 2 представлено изменение УФ-спектров ванилинового спирта (а) и  $\alpha$ -гваяцилпропанола (б) в зависимости от длительности натронной варки при  $T = 160^\circ\text{C}$ . Наиболее резкие изменения в спектрах ванилинового спирта наблюдаются в областях при 220; 250; 295—305 и 330—350 нм. В области 220—240 нм, согласно имеющимся данным, поглощают хиноловые перекисные соединения, а в области 330—350 нм — хинонметидные и сопряженные с фенольным остатком в ионизированной форме карбонилсодержащие структуры типа ванилина и  $\alpha$ -гваяцилпропанола в их хиноидной форме [4].

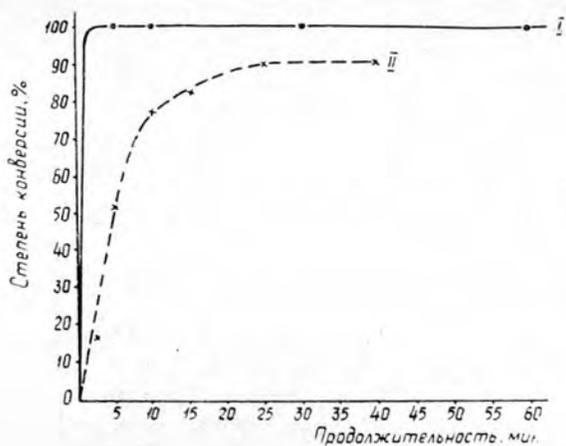


Рис. 1.

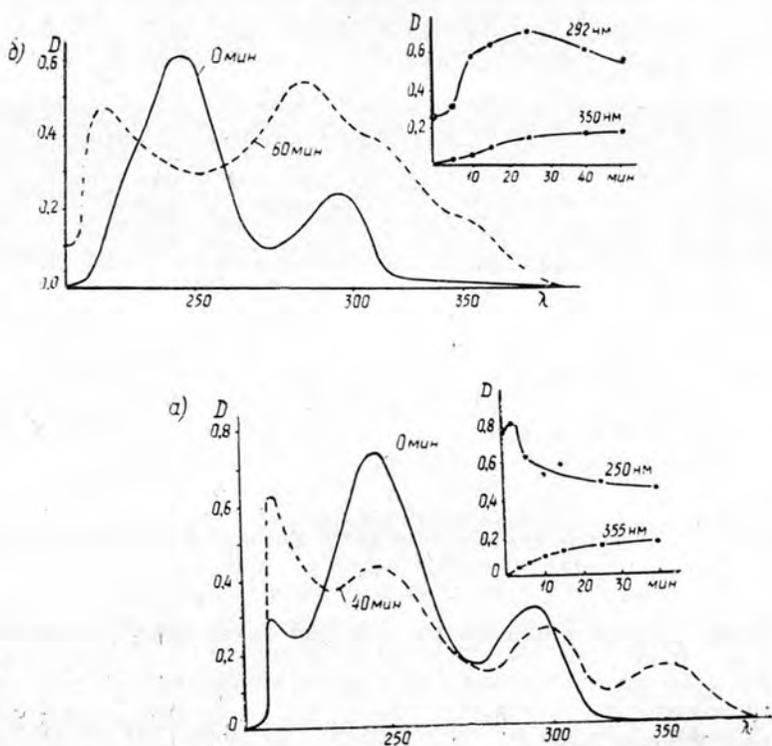


Рис. 2.

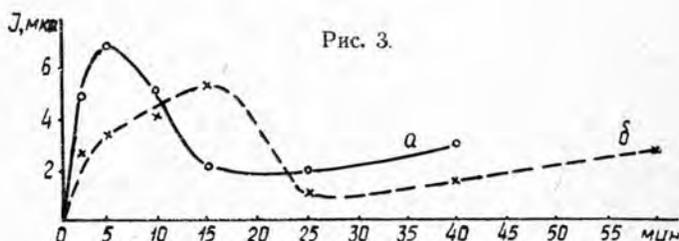
Полученные результаты показали, что в начале варки (до 15 мин) поглощение увеличивается при  $\lambda = 220$  нм, в дальнейшем интенсивность поглощения в этой области немного уменьшается. Постепенно увеличивается во время варки и поглощение при  $\lambda = 350$  нм.

Для  $\alpha$ -гваяцилпропанола характерно увеличение поглощения на частотах 228, 292—300 и 312 нм; максимума оно достигает при 15—25 мин варки, а затем незначительно уменьшается. При  $\lambda = 248$  нм интенсивность поглощения монотонно понижается, а при  $\lambda = 350$  нм увеличивается. Для кониферилового спирта характерно уменьшение

оптической плотности при  $\lambda = 230$  и  $292-300$  нм и увеличение  $D$  при  $\lambda = 350$  нм.

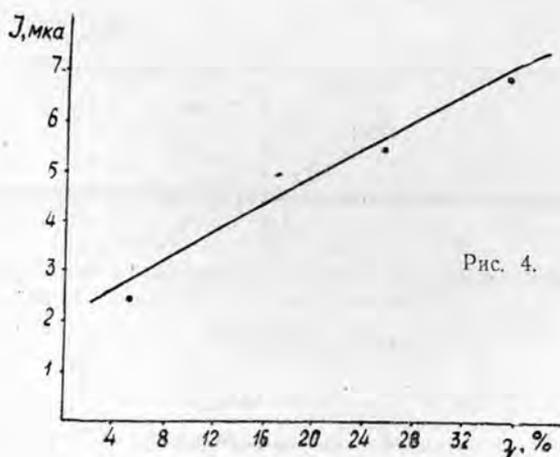
Варки с восстановителями ( $\text{NH}_2-\text{NH}_2$ ) ванилинового спирта и  $\alpha$ -гваяцилпропанола показали, что УФ-спектры растворов в данных условиях остаются неизменными. Значит, при варках с восстановителем изменения хромофорного состава практически не наблюдается.

Рассмотрим данные полярографического анализа. На рис. 3 представлено изменение величины  $I$  полярографического тока для ванилинового спирта (кривая  $a$ ) и  $\alpha$ -гваяцилпропанола (кривая  $b$ ) в области потенциала  $-0,77$  в в зависимости от длительности варки. Потенциал этой полуволны близок к потенциалу первой полуволны для хинонов и хинонметидов.



Результаты показали, что величина полярографического тока в зависимости от длительности варки проходит через максимум. Исходные спирты не восстанавливаются на фоне 1 н. NaOH. Во время варки возникают окисленные формы, которые восстанавливаются при потенциалах  $-0,77$  в и  $-1,2$  в. Весьма существенна взаимосвязь величины полярографического тока  $I$  (концентрация электроактивных групп) при  $E_{\frac{1}{2}} = -0,77$  и степени конверсии мономера в полимер  $q$  во время варки

при  $160^\circ\text{C}$  (рис. 4). Следовательно, процесс образования полимерных продуктов из ванилинового спирта протекает через окислительно-восстановительные стадии, при которых и образуются электроактивные группы в промежуточных соединениях. Еще более однозначно на это указывает сравнение кривых гель-фильтрации продуктов (рис. 5), полученных после варки ванилинового спирта при  $160^\circ\text{C}$  в течение 10 мин



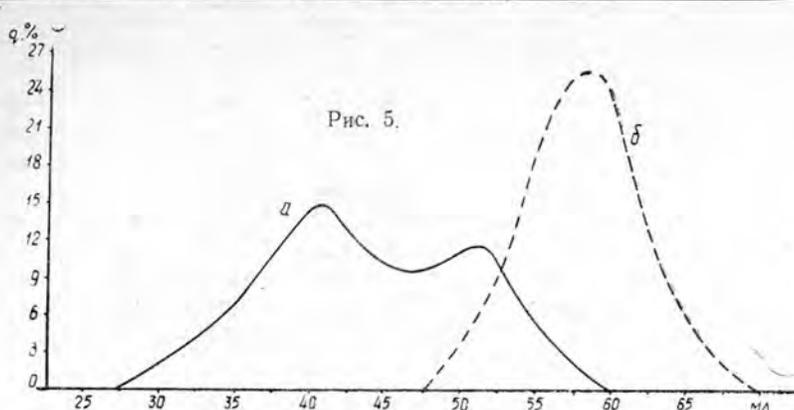


Рис. 5.

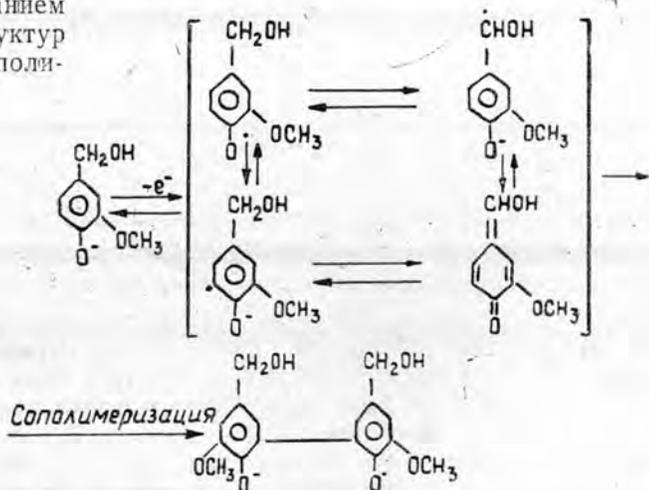
при чисто натронной варке (кривая *a*) и при варке с восстановителем — 4%-ным раствором гидразина (кривая *б*). При варке с восстановителем процесс шивки практически полностью подавлен и кривая повторяет кривую элюирования исходного мономера.

Итак, в процессе нагревания щелочных растворов указанные соединения претерпевают значительные изменения в хромоформном составе. При варке с восстановителями (в случае непродолжительного нагревания) изменений хромоформного состава не наблюдается. В процессе варки ванилинового спирта и  $\alpha$ -гваяцилпропанола протекают окислительные процессы, которые регистрируются по изменению полярографических данных; эти результаты согласуются с изменениями степени превращения мономеров в полимеры. Кроме того, при варках с восстановителями процессы увеличения МВ подавлены.

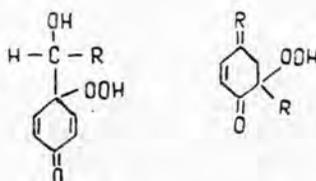
В данных конкретных условиях для спиртовых групп в структурах типа  $\alpha$ -гваяцилпропанола и ванилинового спирта реакция поликонденсации не типична и процесс образования полимеров из мономеров гваяцильного ряда, содержащих спиртовые группы, следует рассматривать как окислительную полимеризацию, в которой восстановители выполняют роль ингибиторов окислительных реакций.

Окислительные превращения и дальнейшая полимеризация промежуточных продуктов окисления могут протекать по нескольким направлениям:

а) с образованием хинонметидных структур и их дальнейшей полимеризацией;



б) с образованием, в качестве промежуточных соединений, перекисей различного строения типа



которые распадаются с образованием радикалов, способных к рекомбинации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Л. П. Алексеева, Г. Н. Соколова, Э. И. Чупка, В. М. Никитин, Тезисы докладов V Всесоюзной конференции по химии лигнина. Рига, 1971. [2]. Л. П. Алексеева, А. М. Кутневич, Э. И. Чупка, В. М. Никитин. Влияние восстановителя на изменение лигнина при щелочных варках. В кн. «Химия древесины», № 12, Рига, 1972, 35. [3]. В. А. Долматов, Э. И. Чупка, В. М. Никитин. Влияние восстановителей на конденсацию лигнина при щелочных варках Журн. «Бумажная промышленность» № 1, 1973, 3—4. [4]. В. В. Ершов, А. А. Володькин, Г. А. Никифоров. Пространственно-затрудненные фенолы. М., «Химия», 1972, с. 352. [5]. С. И. Садык-Заде, А. В. Рагимов, С. С. Сулейманова, Б. И. Лиогонький. О полимеризации хинонов в щелочной среде и исследование структуры образующихся полимеров. — «Высокомолекулярные соединения», 14, 1972, сер. А, № 6, с. 1284. [6]. Г. С. Чиркин, Д. В. Тищенко. Материалы советско-финского симпозиума. Л., 1968. [7]. Э. И. Чупка, А. В. Оболенская, В. М. Никитин. О природе процессов увеличения молекулярного веса лигнина при щелочных варках. В кн. «Химия древесины», № 9, Рига, 1971, 85. [8]. Э. И. Чупка, В. М. Каминская, В. А. Долматов, В. М. Никитин. Тезисы докладов V Всесоюзной конференции по химии лигнина. Рига, 1971. [9]. Э. И. Чупка, Г. В. Чуйко, Л. П. Алексеева, В. М. Никитин. Доклады советских специалистов на советско-финском симпозиуме, Киев, 1972. [10]. K. V. Saarkanen. Lignins Occurrence Formation, Structure and Reactions. Wiley—Interscience, New-Jork, 1970, 690. [11]. G. Steelink. Free radical studies of Lignin degradation products and soil humic acid. Geochim. Cosmochim. Acta, 28, 1964, 1615.

Поступила 7 мая 1974 г.

УДК 668.473.547.92

### ВЫДЕЛЕНИЕ ФИТОСТЕРИНА ИЗ СПИРТО-ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОМЫЛЕННОГО ПЕКА КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ ПО МЕТОДУ ЛТА

В. Б. НЕКРАСОВА, Э. И. ЕВСТИГНЕЕВ, А. Л. АГРАНАТ  
Ленинградская лесотехническая академия

Показано, что при получении стеринных продуктов количество фитостерина-сырца и содержание стеринов в нем увеличивается по мере возрастания давления в растворе на стадии омыления пека. Предварительное омыление пека следует проводить в присутствии большого избытка щелочи при соотношении пек — 60%-ный спирт как 1:2.

Способ\*, разработанный в Ленинградской лесотехнической академии для выделения фитостерина-сырца из сульфатного мыла и основанный на кристаллизации стеринов из спирто-водных растворов мыла, приемлем и для получения фитостерина из спирто-водных растворов омыленного пека.

\* В. Б. Некрасова, Э. И. Ларина, А. Л. Агранат, Ф. Т. Солодкий. Способ выделения фитостерина из таллового пека. Химическая переработка древесины. Реферативная информация № 23, ЦНИИТЭИлеспром, 1969.

№ опыта	Давление, атм	Реакционная среда	Фитостерин-сырец			Маточный раствор, % к пеку,		Физико-химическая характеристика стеринов сырца	
			сухой фитостерин-сырец, % к пеку	стерины, %		неомыляемые	фитостерин	температура плавления, °С	содержание β-ситостерина, % к фитостерину
				к сырцу	к пеку				
1	1	60%-ный этиловый спирт	0,8	18,7	0,2	1,8	0,1	118—127	83,55
2	5	" " "	6,2	29,4	1,8	5,2	0,2	120—127	90,84
3	10	" " "	28,5	27,0	7,7	30,4	0,8	118—124	81,39
4	1	96%-ный этиловый спирт	1,5	Не определяли		Не определяли		Не определяли	
5	5	" " "	33,0	20	6,6	19,0	3,3	114—118	77,54
6	10	" " "	50	13,9	6,9	16,1	2,4	110—124	80,73

Примечание. Содержание β-ситостерина определяли дигитониновым методом. Реакция Либермана — Бурхардта положительная интенсивная во всех образцах фитостерина-сырца.

Таблица 2

№ опыта	Соотношение пек:реакционная среда	Фитостерин-сырец			Маточный раствор, % к пеку		Физико-химическая характеристика стеринов сырца	
		сухой фитостерин-сырец, % к пеку	стерины, %		неомыляемые	фитостерин	температура плавления, °С	содержание β-ситостерина, % к фитостерину
			к сырцу	к пеку				
Соотношение пек — щелочь как 1 : 0,1								
1	1 : 3	13,70	5,78	0,84	1,64	0,04	123—127	75,40
2	1 : 5	5,59	10,10	0,62	2,15	0,08	125—132	87,45
3	1 : 8	2,68	11,72	0,37	2,65	0,18	124—130	80,50
4	1 : 10	2,20	10,70	0,25	2,83	0,34	123—128	78,20
Соотношение пек — щелочь как 1 : 0,3								
5	1 : 2	109,82	9,80	10,71	Не определяли		105—115	72,20
6	1 : 3	61,80	5,13	3,26	8,02	0,03	117—123	74,40
7	1 : 5	13,46	38,25	1,54	4,33	0,14	115—122	75,40
8	1 : 8	12,33	16,00	2,03	6,31	0,36	115—123	77,59
9	1 : 10	21,90	9,63	2,13	6,21	0,26	105—125	81,00

Примечание. Реакция Либермана — Бурхардта положительная интенсивная во всех образцах фитостерина. Содержание β-ситостерина определяли дигитониновым методом. В опыте 5 значение выхода сухого фитостерина-сырца к пеку выше 100% объясняется наличием щелочи.

Цель данной работы — выяснение зависимости выхода и качества фитостерина-сырца, полученного кристаллизацией спирто-водных растворов омыленного пека, от следующих условий омыления, предшествовавших кристаллизации: давления при омылении, реакционной среды, соотношения пек — щелочь.

В качестве исходного сырья использовали образцы пека Котласского ЦБК, полученного при температуре 265°C и остаточном давлении 5 мм рт. ст. Из 5 образцов пека была отобрана средняя проба (кислотное число 23,65, число омыления 196,5), которую применяли в дальнейшей работе.

Реакционной средой при омылении таллового пека служил 60- и 96%-ный этиловый спирт. После омыления таллового пека при заданных условиях спирто-водные растворы омыленного пека кристаллизовались в течение 72 час при температуре 13°C. Растворы пека, омыленного в 96%-ном этиловом спирте, перед кристаллизацией разбавляли водой до крепости спирта в растворе 60%. Выпавший в осадок фитостерин-сырец отфильтровывали от маточного раствора и анализировали по следующей методике.

Навеску фитостерина-сырца 5 г растворяли в 10-кратном количестве 60%-ного этилового спирта при нагревании до 60—70°C. Полученный раствор разбавляли водой в два раза, охлаждали до комнатной температуры и экстрагировали серным эфиром. Эфирные вытяжки промывали водой до нейтральной реакции. Неомыляемые вещества, полученные после отгонки эфира, сушили, перекристаллизовывали из 96%-ного этанола для выделения фитостерина.

В табл. 1 представлены данные о зависимости выхода и качества фитостерина-сырца от давления и реакционной среды при омылении таллового пека. Условия проведения опытов: соотношение пек — растворитель — щелочь как 1 : 10 : 0,3; время омыления 5 час. Исходная навеска пека 100 г. Омыление проводили в лабораторном автоклаве емкостью 2 л с электрообогревом. Полученные спиртовые растворы кристаллизовали в лабораторном термостате при указанных выше условиях.

Данные табл. 1 показывают, что количество фитостерина-сырца и содержание стерина в нем увеличиваются по мере возрастания давления в растворе при омылении. Количество фитостерина-сырца и стерина в нем при омылении пека в среде 96%-ного этилового спирта больше, чем в среде 60%-ного спирта, однако качественно этот фитостерин уступает полученному из спиртовых растворов пека, омыленных в среде 60%-ного спирта. Максимальный выход стерина (7,7% в пересчете на пек) наблюдается в среде 60%-ного спирта при давлении 10 атм. Как следует из анализа маточных растворов, более полно стерин извлекаются кристаллизацией при омылении пека в среде 60%-ного этилового спирта.

В табл. 2 приведены данные о зависимости выхода и качества фитостерина-сырца при кристаллизации по способу ЛТА от соотношения пек — щелочь при омылении таллового пека. Условия проведения опытов: время — 5 час, давление — 5 атм, среда — 60%-ный этиловый спирт. Максимальное количество фитостерина-сырца выделено при соотношении пек — реакционная среда как 1 : 2. При увеличении этого соотношения количество выделившегося фитостерина-сырца резко уменьшается. Такая же зависимость наблюдается для стерина сырца (в пересчете на пек). Качество фитостерина-сырца примерно одинаково во всех опытах.

Анализ маточных растворов на содержание фитостерина показал, что с увеличением соотношения пек — реакционная среда полнота из-

влечения фитостерина несколько снижается. Из данных табл. 2 также видно, что при прочих равных условиях количество выделившегося фитостерина в несколько раз выше в опытах, где соотношение пек — щелочь как 1:0,3, хотя по числу омыления рассчитанное соотношение 1:0,1. Следовательно, процесс омыления следует вести в присутствии большого избытка щелочи.

### Выводы

1. При получении стериновых продуктов из таллового пека кристаллизацией по способу ЛТА целесообразно в качестве растворителя использовать 60%-ный этиловый спирт.

2. Количество фитостерина-сырца и содержание в нем стеринов увеличивается по мере возрастания давления в растворе на стадии омыления пека.

3. Наибольшее количество фитостерина-сырца выделяется при соотношении пек — реакционная среда как 1:2 (в среде спирта 60%-ного). Для выделения фитостерина-сырца необходимо проводить предварительное омыление пека в присутствии большого избытка щелочи.

Поступила 8 апреля 1974 г.

УДК 634.086.001.5

## МЯГКОЕ ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕВОДНО-ЛАКТОННОЙ ЧАСТИ РАСТВОРИМОЙ СМОЛЫ ТЕРМОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ

Г. В. ТОПОРКОВА, В. А. КАЛАШЕВ, И. С. СОРОКИН

Ленинградская лесотехническая академия

Проведены работы по исследованию кинетики окисления углеводно-лактонной части растворимой смолы. Показано, что древесноволокнистые плиты, полученные на основе окисленной углеводно-лактонной части растворимой смолы, отвечают требованиям ГОСТа на сверхтвердые. Режим окисления: расход  $\text{HNO}_3$  0,63 вес. ч., концентрация 25%, температура 95°C, время окисления 4 часа.

Ранее было показано [2], [4], что водорастворимая смола термолиза древесины (в дальнейшем РС) состоит на 25—27% из левоглюкозана и на 30—35% из оксикислот и их лактонов. Известна способность левоглюкозана, оксикислот РС и их лактонов вступать в реакции полимеризации и поликонденсации [3].

Нами были предприняты попытки использовать углеводно-лактонную часть РС как терморезактивный клей в производстве древесноволокнистых плит сухого способа формования [1]. Плиты по физико-механическим показателям отвечали требованиям ГОСТа на сверхтвердые, а по водопоглощению — на твердые. По всей вероятности, при нагревании углеводно-лактонной части РС (в дальнейшем УРС) помимо полимеризационных процессов идут, главным образом, поликонденсационные. При этом соотношение функциональных групп ОН и СООН в полифункциональных органических соединениях (левоглюкозан и окси- и диокси-кислоты УРС) таково, что при нагревании УРС эти группы не образуют гидрофобных высокомолекулярных полиэфиров.

Использование смеси УРС с 15% малеинового ангидрида в качестве терморезактивного клея позволило нам получить древесноволокнистые плиты, отвечающие требованиям ГОСТа на сверхтвердые. Эти эксперименты подтвердили правильность наших предположений.

Добавление к УРС двухосновных кислот, не способных при нагревании декарбоксилироваться, позволяет получать термореактивный клей, пригодный для изготовления сверхтвердых древесноволокнистых плит. Однако многие двухосновные кислоты дефицитны и дороги.

Частичным окислением левоглюкозана УРС до тетраоксиадипиновой кислоты мы надеялись изменить соотношение  $\text{ОН}:\text{СООН}$  в нужную нам сторону. Благодаря этому частично окисленная азотной кислотой УРС (с минимальным содержанием щавелевой кислоты) могла бы стать дешевым термореактивным связующим.

Проверку наших предположений осуществили на РС Вахтанговского канифольно-экстракционного завода. РС (уд. вес  $1,1 \text{ г/см}^3$ ) содержала 2,89% летучих кислот (в пересчете на уксусную кислоту) и 32,7% нелетучей органики. Прозекстрагированная трижды серным эфиром при соотношении 1:1 и упаренная РС содержала влаги 12,2%, летучих кислот 1,6%, левоглюкозана 20,25%, кислотное число  $112 \frac{\text{мг} \cdot \text{КОН}}{\text{г РС}}$ , эфирное число  $215 \frac{\text{мг КОН}}{\text{г РС}}$  (УРС).

При изучении влияния различных факторов на процесс окисления УРС глубину окисления характеризовали, определяя в окисленном продукте  $\text{CO}_2$ , щавелевую кислоту, количество летучих кислот в пересчете на уксусную, кислотное число нелетучих кислот за вычетом кислотного числа азотной и щавелевой кислот (в дальнейшем к. ч. нелетучих кислот). Исследования начали с изучения влияния расхода азотной кислоты, взяв за основу следующие показатели: концентрация азотной кислоты 25%; время окисления 3 часа; температура  $95^\circ\text{C}$ .

Результаты сведены в табл. 1, из данных которой видно, что при расходе азотной кислоты 0,63—1 вес. ч. в пересчете на 100%-ную  $\text{HNO}_3$  от УРС, вероятно, образуются, главным образом, одноосновные оксикислоты (глюконовая и др.). При расходе 1,8 вес. ч.  $\text{HNO}_3$  100%-ной концентрации происходит их частичное разрушение, о чем свидетельствует уменьшение к. ч. нелетучих кислот. При дальнейшем увеличении расхода азотной кислоты к. ч. нелетучих кислот медленно возрастает, вероятно, за счет образования двухосновных кислот, о чем свидетельствует наибольшее количество не растворимых в воде, но растворимых в горячей уксусной кислоте кальциевых солей при расходе 100%-ной азотной кислоты 4 вес. ч.

Таблица 1

Количество $\text{HNO}_3$ вес. ч. от окисляемого продукта,		Выход, % от окисляемого продукта,			Кислотное число		
100%-ной концентрации	25%-ной концентрации	$\text{CO}_2$	летучих кислот	щавелевой кислоты	окисленного продукта (без $\text{HNO}_3$ )	летучих кислот и щавелевой кислоты	нелетучих кислот
0,63	2,5	—	3,6	7,3	415	134	281
1	4	40,8	3,86	10,6	486	171	315
1,8	7	—	3,57	16,2	376	235,6	140,4
2,5	10	46,6	4,35	17,0	468	252,5	215,5
3,5	14	—	5,16	19,0	542	296,6	245,4
4,0	16	53	6,8	21,4	555	305	250
5,5	22	—	7,11	21,4	627	332,4	294,6
6,0	24	55	7,15	21,4	723	334,7	388,3

Исследовано также влияние концентрации азотной кислоты на процесс декарбоксилирования органических кислот УРС при следующих постоянных параметрах процесса окисления: расход 100%-ной азотной

кислоты 4 вес. ч. на 1 вес. ч. УРС; температура окисления 95°C; время 3 часа.

Результаты сведены в табл. 2. Увеличение концентрации азотной кислоты приводит к возрастанию выхода CO<sub>2</sub>, щавелевой кислоты и падению к. ч. нелетучих кислот УРС. Применение 15%-ной HNO<sub>3</sub> позволяет избежать разрушения нелетучих кислот УРС и образования щавелевой кислоты. Температура процесса окисления — решающий фактор

Таблица 2

Концентрация HNO <sub>3</sub> , %	Выход, % от окисляемого продукта			Кислотное число		
	CO <sub>2</sub>	летучих кислот	щавелевой кислоты	окисленного продукта (без HNO <sub>3</sub> )	летучих кислот и щавелевой кислоты	нелетучих кислот
15	27,4	3,75	—	587	36,4	550
25	53	6,8	21,4	555	305	250
40	64	8,64	25,0	590	391,6	198,4
59	73	4,83	31,0	487	468	19

Таблица 3

Концентрация HNO <sub>3</sub> , %	Температура, °C	Выход, % от окисляемого продукта		Кислотное число		
		летучих кислот	щавелевой кислоты	окисленного продукта (без HNO <sub>3</sub> )	летучих кислот и щавелевой кислоты	нелетучих кислот
59	50	4,15	24,4	683	337,6	345,4
	95	4,83	34,0	487	468	19,0
15	50	10,6	—	535	99	4,6
	95	3,75	—	587	36	550

Таблица 4

Время, час	Выход, % от окисляемого продукта		Кислотное число		
	летучих кислот	щавелевой кислоты	окисленного продукта	летучих кислот и щавелевой кислоты	нелетучих кислот
3	4,6	—	535	42,5	492,5
6	10,6	—	604	99	505
8	8,2	—	590	78	512

окисления УРС для 59%-ной HNO<sub>3</sub> и второстепенный фактор для 15%-ной HNO<sub>3</sub> (табл. 3) при расходе 100%-ной HNO<sub>3</sub> 4 вес. ч. и времени окисления 3 часа. Время (табл. 4) имеет большое значение при мягком окислении УРС 15%-ной азотной кислотой (расход 100%-ной HNO<sub>3</sub> 4 вес. ч. на 1 вес. ч. УРС при температуре 50°C). Время окисления более 5 час нецелесообразно, так как образуются летучие кислоты.

На основании проведенных экспериментов по окислению углеводно-лактонной части РС можно заключить, что для получения наибольшего количества COOH группировок наиболее целесообразен следующий режим окисления: расход 100%-ной HNO<sub>3</sub> 0,63—1 вес. ч. на УРС, концентрация HNO<sub>3</sub> — 15—25%, температура 95°C, время 3—4,5 часа. Приготовлено четыре образца термореактивного клея с сушкой и без нее. Характеристика образцов представлена в табл. 5.

Термореактивный клей 40%-ный методом холодного распыления наносили на березовое волокно с расходом 7—10% на абс. сухое во-

Таблица 5

№ образца	Режим окисления				Летучие кислоты, %	Щавелевая кислота, %	Кислотное число		
	расход $HNO_3$ , вес. ч.	концентрация $HNO_3$ , %	температура, °С	время, час			окисленного продукта	летучих кислот и щавелевой кислоты	нелетучих кислот
I	0,63	15	95	5	$\frac{3,2}{—}$	$\frac{5,75}{3,78}$	$\frac{329}{238}$	$\frac{71,5}{47}$	$\frac{257,5}{191}$
II	1	15	95	3	$\frac{2,86}{—}$	$\frac{5,8}{3,95}$	$\frac{434}{300}$	$\frac{74,8}{49}$	$\frac{359}{251}$
III	1	25	95	3	$\frac{3,86}{—}$	$\frac{10,6}{4,56}$	$\frac{486}{334}$	$\frac{171}{57}$	$\frac{315}{277}$
IV	0,63	25	95	4	$\frac{3,6}{—}$	$\frac{7,3}{—}$	$\frac{415}{—}$	$\frac{134}{—}$	$\frac{281}{—}$

Примечание. В числителе данные до сушки; в знаменателе — после сушки.

локну. Древесноволокнистые плиты сухого формования изготавливали по способу, описанному в одной из работ [1].

Таблица 6

№ образца	Прочность на статический изгиб $\sigma$ , кг/см <sup>2</sup>	Набухание $N$ , %	Вологопоглощение $W$ , %
I	$\frac{524}{584}$	$\frac{29,4}{17,6}$	$\frac{37,4}{23,9}$
	$\frac{497}{515}$	$\frac{25,7}{14,3}$	$\frac{39,3}{22,8}$
II	$\frac{511}{475}$	$\frac{23,5}{10,0}$	$\frac{32,6}{15,0}$
	$\frac{503}{515}$	$\frac{22,85}{10,6}$	$\frac{31,7}{12,7}$

Примечание. В числителе данные до закалки; в знаменателе — после закалки при  $T_3 = 170^\circ\text{C}$ .

График прессования древесноволокнистых плит представлен на рис. 1. После выдержки плит в течение двух суток проводили их физико-механические испытания. Результаты помещены в табл. 6, из данных которой видно, что плиты, полученные на основе окисленного продукта IV, удовлетворяют требованиям ГОСТа на сверхтвердые. Сушить окисленный продукт не рекомендуется, так как возможно частичное упаривание его в случае низкой концентрации.

Итак, терморезактивный клей, полученный окислением УРС 15—25%-ной азотной кислотой (с расходом 0,63—1 вес. ч. на 1 вес. ч. УРС) при температуре окисления  $95^\circ\text{C}$  и времени процесса 3—4,5 часа, позволяет изготавливать из березового волокна сверхтвердые древесноволокнистые плиты.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Н. Я. Солечник, А. П. Шишкина. Влияние продуктов расщепления компонентов древесины на технологию изготовления и свойства древесноволокнистых плит, получаемых сухим и полусухим способами. ИВУЗ. «Лесной журнал» № 3, 1964.

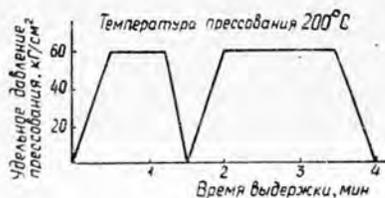


Рис. 1.

[2]. Д. Тищенко, К. Бардышева, Н. Носова. Химический состав древесной газогенераторной кислой воды. ЖПХ, т. 21, вып. 9, 1948, стр. 976—984. [3]. Д. Тищенко. Химический состав древесной газогенераторной кислой воды (сообщение II). ЖПХ, т. 39, вып. 2, 1966, стр. 438—442. [4]. V. Waczek, H. Wagner. Chem. Zeit, т. 40, 17, 1937, 387—391.

Поступила 8 апреля 1974 г.

УДК 634.0.813

## К ВОПРОСУ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И РЕКТИФИКАЦИИ ЭФИРНОГО МАСЛА ЛИСТВЕННИЦЫ

В. Г. ЛАТЫШ, Л. В. КРАСНОБОЯРОВА, Р. Д. КОЛЕСНИКОВА,  
Б. А. ЗАХАРИЯ, Б. Ф. МАЛИКОВ

Воронежский лесотехнический институт

Исследованы закономерности процесса отгонки эфирного масла из однолетних побегов лиственницы Сукачева, а также закономерности концентрирования компонентов эфирного масла при его дальнейшей ректификации. Установлено, что максимальный выход эфирного масла лиственницы Сукачева из растительного сырья наблюдается в течение первых трех часов отгонки. Для полного извлечения высококипящих терпеноидов необходимо проводить отгонку не менее 7 час.

Изучению эфирного масла природных соединений уделяется большое внимание [6]. Эфирное масло и отдельные компоненты, извлеченные из него, широко применяются в народном хозяйстве [1]. Кроме того, состав эфирного масла можно использовать как диагностический признак видов различных культур [5], а также для изучения различных биогенетических превращений в растениях [2], [3].

Нами исследовалось эфирное масло лиственницы, наименее изученное из хвойных. Важным является вопрос о методах и приемах извлечения эфирного масла из растительного сырья, а также о дальнейшем разделении на группы компонентов или индивидуальные компоненты различными физико-химическими методами [4], [7]. Большое значение имеет усовершенствование методики процесса отгонки эфирного масла из растительного сырья.

Наши опыты были проведены на 18-летних культурах лиственницы Сукачева из Архангельской области, выращенных на опытном участке Воронежского лесотехнического института; этот вид лиственницы был выбран как имеющий наибольший выход эфирного масла. Для отгонки эфирного масла использовали однолетние побеги, которые предварительно измельчали до частиц размером 3—5 мм.

Был изучен выход и состав эфирных масел в процессе отгонки, осуществляемой в аппарате Клевенджера. Максимальный выход эфирного масла наблюдался в первые 3 часа и составлял 2,01% на 1 кг сырья. Процесс отгонки проводился непрерывно в течение 24 час. Пробы отбирали через каждый час.

Извлечено 10,27 г эфирного масла, что составило около 63%. Были замерены физико-химические характеристики этой фракции масла: относительная плотность  $d_{4}^{20} = 0,8846 \text{ г/см}^3$ ; угол вращения  $[\alpha]_D^{20} = 12,6$ ; коэффициент рефракции  $n_D^{20} = 1,4780$ . За последующий 21 час отогнано лишь 6,14 г эфирного масла, причем с каждым последующим часом выход его уменьшается. Химический состав углеводородной части эфирного масла исследован на универсальном хроматографе типа Цвет 3-66.

В табл. 1 представлены данные о составе эфирного масла за различные отрезки времени при отгонке с водяным паром. Из этих данных

Таблица 1

Компоненты эфирного масла	Содержание компонентов, %, при длительности отгонки, час												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13-24
Сантен	0,7	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,1	0,1	0,2	Следы	Следы
$\alpha$ -пинен	9,1	7,6	6,8	6,2	5,9	6,9	4,5	7,0	6,3	6,0	7,1	6,8	5,6
Камфен	0,9	0,6	0,6	0,4	0,2	1,0	0,4	0,4	0,4	1,4	2,6	0,5	0,4
$\beta$ -пинен	25,1	16,4	11,3	9,8	8,5	9,3	5,0	7,1	6,8	9,3	6,7	6,4	3,4
$\Delta^3$ -карен	44,3	47,6	57,0	55,5	58,0	59,6	38,0	61,6	59,2	58,0	57,9	51,6	59,3
$\alpha$ -терпинен	4,8	6,2	5,6	5,3	5,8	4,7	4,6	5,4	5,8	5,7	4,1	6,9	5,9
Дипентен	2,4	4,3	2,9	2,9	3,6	2,7	5,4	2,9	3,0	2,8	2,8	4,5	3,4
$\beta$ -фелландрен	2,7	4,1	2,8	3,0	3,7	2,5	6,5	2,7	3,2	2,9	2,6	3,8	3,3
Цинеол	1,4	1,6	0,6	0,7	0,7	0,2	6,7	0,3	0,3	0,3	Следы	Следы	Следы
$\gamma$ -терпинен + $n$ -цимол	5,0	7,4	7,0	10,2	7,7	7,5	13,6	6,3	8,6	8,3	9,3	11,5	10,8
Терпинолен	3,6	3,8	5,2	5,9	5,8	5,5	15,1	5,9	6,3	5,2	6,7	8,0	7,9

Таблица 2

Время, час	Разница температур, °С	Содержание, %								
		$\alpha$ -пинен	$\beta$ -пинен	$\Delta^3$ -карен	$\alpha$ -фелландрен	$\alpha$ -терпинен	дипентен	$\beta$ -фелландрен	$n$ -цимол + $\gamma$ -терпинен	терпинолен
0	0	15,7	2,7	64,8	2,5	3,0	4,4	1,5	1,3	4,1
2,3	52	78,1	6,5	12,1	3,1	—	0,2	—	—	—
3,5	63	17,2	2,8	73,2	4,8	—	2,0	—	—	—
5,6	100	1,6	0,7	94,3	—	0,8	2,0	—	—	0,6
6,7	105	0,3	—	91,0	—	1,7	2,1	0,6	0,5	3,8
7,3	117	—	—	86,0	—	1,8	2,1	1,1	1,0	8,0
7,7	135	—	—	82,0	—	2,1	2,1	1,6	1,0	11,0
8,3	140	—	—	74,1	—	4,2	2,7	—	1,3	17,7
8,8	145	—	—	67,8	—	5,7	3,4	—	1,2	21,9

видно, что эфирное масло, отбираемое в процессе отгонки в различные промежутки времени, имеет различный химический состав.

Максимальное содержание отдельных компонентов наблюдается в различные периоды отгонки. Так, для  $\alpha$ -пинена наибольший выход отмечается при отгонке эфирного масла в течение 1 часа, а затем постепенно снижается. Максимальный выход  $\beta$ -пинена наблюдается также при отгонке в течение 1 часа, а затем его содержание падает.

Наибольший выход  $\Delta^3$ -карена отмечается лишь после 8-часовой отгонки эфирного масла. Содержание  $\alpha$ -терпинена в эфирном масле примерно постоянно на всем протяжении отгонки. Максимальный выход дипентена,  $\beta$ -фелландрена, шинеола, терпинолена,  $\gamma$ -терпинена и *n*-цимола наблюдается после 7-часовой отгонки.

Далее была проведена серия опытов по ректификации эфирного масла на лабораторном дистилляционном аппарате типа ОВ-503Т (Венгрия) с транзисторной системой регулировки. Число теоретических тарелок для аналитической колонки 40, эквивалентная высота 37 мм, флегмовое число 50. Высота колонки 1 м, внутренний диаметр 15 мм.

В аппарат загружали 180 мл смеси эфирного масла следующего состава (в процентах):  $\alpha$ -пинен 15,7;  $\beta$ -пинен 2,7;  $\Delta^3$ -карен 64,8;  $\alpha$ -фелландрен 2,5;  $\alpha$ -терпинен 3,0; дипентен 4,4;  $\beta$ -фелландрен 1,5; *n*-цимол +  $\gamma$ -терпинен 1,3; терпинолен 4,1.

Длительность цикла ректификации 8 час 50 мин. В процессе ректификации автоматически регулировали температуру нагрева куба и колонки, скорость кипячения, давление паров. Дистиллят отбирали по мере изменения разности температур бойлера и верха колонки по времени. Всего за один цикл ректификации проводили по восемь отборов. Дистиллят из каждого отбора анализировали на хроматографе типа Цвет 3-66.

Данные об изменении состава эфирного масла при ректификации представлены в табл. 2. Из этих данных видно, что максимальное концентрирование  $\alpha$ -пинена (до 78%) в смеси происходит по истечении 2 час 30 мин ректификации эфирного масла; наибольшее концентрирование  $\Delta^3$ -карена в смеси (94%) наблюдается через 5 час 40 мин. Концентрирование остальных компонентов смеси, содержащихся в количестве до 19,5%, происходит в зависимости от физико-химических свойств компонента в разное время и при различной температуре.

Установлена зависимость процентного выхода компонентов смеси от разности температур бойлера и верха ректификационной колонки. Разность температур, соответствующая 52°, наиболее благоприятна для отбора дистиллята с максимальным содержанием  $\alpha$ -пинена, а разность температур, соответствующая 100°, наиболее благоприятна для отбора дистиллята с наибольшим содержанием  $\Delta^3$ -карена.

Таким образом, нами установлено, что в первые 3 часа отгонки в аппарате Клевенджера отгоняется основная часть эфирного масла (~63%), обогащенная  $\alpha$ -,  $\beta$ -пиненами и  $\alpha$ -терпином. В процессе ректификации эфирного масла большое значение имеют длительность цикла ректификации и разность температур бойлера и верха колонки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. М. О. Каррьеv. Изготовление лекарственных препаратов из некоторых видов эфирносов флоры Туркмении. «Pozter dziedzinie lekurosl. sump. Poznan, 1970», Poznan, 1972, стр. 149—152. [2]. Ю. А. Полтавченко, Г. А. Рудаков. Биосинтез монотерпенов у кедра сибирского и кедрового стланика. Журн. «Биологические науки» № 7, 1972, стр. 95. [3]. Г. А. Рудаков, Ю. П. Полтавченко. К вопросу о генезисе монотерпенов эфирного масла сосны обыкновенной. Сборник трудов IV Международного конгресса по эфирным маслам 1968 г., 1971, стр. 289—296. [4]. P. A. Heidip, A. C. Thompson, R. C. Geuldner. Применение метода последовательного восста-

новления для разделения эфирных масел. «Anal. Chem», 44, № 7, 1972, s. 1254—1257. [5]. Н. Комае, Hayashin, S. Koseta. Хемотаксономия эфирных масел семейства лавровых. «Flavour Jnd». 3, № 3, 1972, s. 155—157. [6]. Н. Küster. Bedeutung und Zukunftsaussichten der natürlichen ätherischen öle. «Gordian», 72, № 7—8, 1972, s. 269—271. [7]. Klaus Wilding, Wilhelm Flemming, Dieter Schmache, Rudolf Dickscheit, Патент ГДР, кл. 23 (с. 11 в, с. 12 в), № 84698, опубликован 20.9.71 г. (метод приспособления для непрерывного получения эфирного масла).

Поступила 15 апреля 1974 г.

УДК 547.992.3

## ОБ ИЗМЕНЕНИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЕСА ДИОКСАНЛИГНИНА БЕРЕЗЫ ПРИ ЩЕЛОЧНЫХ ВАРКАХ

Б. Д. БОГОМОЛОВ, Г. И. ПОПОВА, О. М. СОКОЛОВ,  
Г. Г. КОЧЕРГИНА

Архангельский лесотехнический институт

Приведены данные по изменению молекулярного веса диоксанлигнина березы при щелочных варках. Показано, что изменение МВ связано с изменением в лигнинах содержания функциональных групп, а также выхода альдегидов в продуктах щелочного нитробензольного окисления. При щелочных варках лиственного диоксанлигнина протекают такие же реакции, как и при варках хвойного.

Изучение свойств лиственного лигнина и его превращений при щелочных варках имеет важное значение. Характер изменения молекулярного веса (МВ) лигнина в условиях варки позволяет судить о реакциях, протекающих с лигнином при щелочной делигнификации.

Нами в качестве модели природного лигнина использован препарат диоксанлигнина березы и изучены его изменения при натронных и сульфатных варках [2], [4]. Исследования показали, что в процессе щелочных варок лиственный лигнин, как и хвойный, подвергается реакциям гидролитической деструкции, протекающим с разрывом эфирных связей и приводящим к новообразованию фенольных гидроксидов, изменению качественного и количественного содержания карбонильных групп. При этом лиственный лигнин деградирует сильнее, чем хвойный. На это указывает, в частности, значительно большее содержание фенольных гидроксидов в щелочных лиственных лигнинах по сравнению с хвойными. Прирост фенольных гидроксидов ( $\frac{Мг-Экв}{г}$ ) по отношению к исходному при температурах 120, 140, 160 и 180°C соответственно составлял: в натронных лиственных лигнинах 3,08; 3,31; 3,74; 4,46 [2], в хвойных 2,73; 2,81; 2,80; 3,08 [5]. Лиственные сульфатные лигнины от варок при этих температурах содержали 3,51; 3,85; 4,03 и 5,05  $\frac{Мг-Экв}{г}$  фенольных гидроксидов [2], а хвойные сульфатные — 2,95; 3,05; 3,53 и 3,59  $\frac{Мг-Экв}{г}$  соответственно [5].

В табл. 1 представлены данные об изменении МВ щелочных лигнинов березы. Из этих данных видно, что лишь натронные лигнины от варок при температуре 120° имеют несколько больший молекулярный вес, чем исходный диоксанлигнин. МВ натронных лигнинов от варок при 140, 160 и 180°, а также сульфатных лигнинов от варок при всех температурах меньше МВ диоксанлигнина, что указывает на протекание преимущественно реакций деструкции лиственного лигнина при натронных и сульфатных варках.

Таблица I

№ варки	Температура варки, °С	$\bar{M}_w$	Выход лигнина после варки, % от загруженного
Натронные лигнины			
36	120	8620	80, 0
37	120	7190	78, 4
38	140	5180	73, 5
39	140	5020	71, 5
40	160	3930	71, 5
41	160	2970	67, 7
42	180	3620	57, 6
43	180	3160	61, 8
Сульфатные лигнины			
44	120	5010	72, 8
45	120	3720	74, 0
46	140	3110	67, 4
47	140	2660	66, 6
48	160	3450	61, 2
49	160	2980	62, 5
50	180	1100	58, 2
Диоксанлигнин исходный			
—	—	5500	—

Увеличение  $\bar{M}_w$  низкотемпературных натронных лигнинов может быть обусловлено как фракционированием лигнина, так и протеканием химических реакций в процессе варки. Расчеты  $\bar{M}_w$  щелочных лигнинов по уравнению

$$M_1 \cdot W_1 + M_2 \cdot W_2 = M$$

показали, что увеличение средневесового  $\bar{M}_w$  только за счет фракционирования меньше, чем наблюдаемое. В приведенном уравнении  $M_1$  и  $M_2$  — молекулярные веса выделенного и водорастворимого лигнинов;  $W_1$  и  $W_2$  — весовые доли этих лигнинов;  $M$  — молекулярный вес исходного диоксанлигнина.

Вычисленный по этому уравнению  $\bar{M}_w$  натронных лигнинов от варки при 120°

$$M_n = \frac{5500 - 200 \cdot 0,20}{0,80} = 6825.$$

При расчете  $\bar{M}_w$  водорастворимой части лигнина приняли возможность его расщепления до элементарных звеньев с условным  $\bar{M}_w = 200$ . Весовые доли лигнинов определяли на основании их выходов после варок (табл. I). Так как водорастворимая фракция, несомненно, содержит и более крупные фрагменты, то увеличение  $\bar{M}_w$  только за счет фракционирования будет еще меньше. Следовательно, наблюдаемое возрастание  $\bar{M}_w$  низкотемпературных лигнинов обусловлено не только фракционированием, но и протекающими химическими процессами укрупнения макромолекул.

Исследование  $\bar{M}_w$  хвойных лигнинов [3] показало, что увеличение  $\bar{M}_w$  низкотемпературных щелочных лигнинов по сравнению с исходным диоксанлигнином происходит в результате сшивки молекул за счет функциональных групп пропановой цепочки. Химический анализ лист-

венных лигнинов показал, что щелочные лигнины от варок при температуре 120° не содержат бензилспиртовых и бензилэфирных групп, а также гидроксилы у  $\gamma$ -углеродного атома. Исходный диоксанлигнин содержал  $0,42 \gamma \frac{\text{МЭ-ЭКВ}}{2}$  бензилспиртовых и бензилэфирных групп и  $0,33 \frac{\text{МЭ-ЭКВ}}{2}$   $\gamma$ -гидроксилы. Следовательно, спиртовые гидроксилы листового диоксанлигнина также принимают участие в реакциях сшивки макромолекул лигнина.

Таблица 2

№ варки	Температура варки, °С	Выход альдегидов, % от навески		
		ванилина	сиреневого альдегида	ванилина+сиреневого альдегида
Натронные лигнины				
36	120	13,9	5,6	19,5
37	120	14,1	5,1	19,2
38	140	14,5	5,2	19,7
39	140	14,4	4,0	18,4
40	160	10,1	3,2	13,3
41	160	10,3	2,7	13,0
42	180	5,2	2,6	7,8
43	180	5,2	2,8	8,0
Сульфатные лигнины				
44	120	14,0	5,5	19,5
45	120	14,4	5,2	19,6
46	140	13,3	5,2	18,2
47	140	13,0	5,2	18,2
48	160	10,6	3,5	14,1
49	160	13,3	2,6	12,9
50	180	5,4	2,6	8,0
51	180	5,3	2,6	7,9
Диоксанлигнин исходный				
—	—	14,9	11,7	26,6

Примечание. Опыты проведены В. С. Буцаленко.

Результаты нитробензольного окисления щелочных лигнинов березы представлены в табл. 2. О конденсационных превращениях лигнина в процессе щелочных варок можно судить по уменьшению выхода альдегидов. Данные табл. 2 указывают на участие сирингиловых и гваяциловых единиц в реакциях конденсации, приводящих к снижению выхода альдегидов в продуктах щелочного нитробензольного окисления щелочных лигнинов. Однако в подавляющем большинстве опытов реакции конденсации лигнина при щелочных варках не приводят к выявляемому увеличению МВ щелочных лигнинов вследствие интенсивной деструкции макромолекул лигнина, перекрывающей увеличение МВ за счет реакции конденсации. Образование новых С—С связей может также представлять внутримолекулярный процесс, не связанный с увеличением МВ лигнина.

#### Методика исследований

Препараты лигнина. Диоксанлигнин выделен из древесины березы *Betula verrucosa* Ehrh. по методике Пешпера [9] в среде аргона. Щелочные лигнины получены после натронных и сульфатных варок ди-

оксанлигнинна при температурах 120, 140, 160 и 180° в течение 3 час при концентрации активной щелочи 50 г/л (в единицах NaOH) и жидкостном модуле 6. Воздух из автоклава вытеснялся аргоном. Лигнины из щелока осаждали подкислением 0,1 н. соляной кислотой до pH = 4,5 и промывали дистиллированной водой на стеклянных пористых фильтрах до нейтральной реакции; в вакуум-сушильном шкафу высушивали при температуре 40° [5].

Анализ лигнинов. Молекулярные веса препаратов лигнина определяли методом неустановившегося равновесия на ультрацентрифуге венгерского производства G-110 [1], [6]. Функциональные группы определяли по следующим методикам: фенольные гидроксильные группы — по разности определений кислых групп барий-хлоридным методом и карбоксильных — кальций-ацетатным; спиртовые гидроксилы у  $\gamma$ -углеродного атома — по количеству выделившегося формальдегида [7]; бензилспиртовые и бензилэфирные группы — метилированием метанолом в присутствии соляной кислоты [8]. Нитробензольное окисление лигнинов проводили по микрометоду Стоуна и Бленделя [10].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Б. Д. Богомолов, О. М. Соколов, Н. Д. Бабикова. Сб. «Современные методы исследования в химии лигнина», Архангельск, 1968, стр. 57. [2] Б. Д. Богомолов, Г. И. Попова. Труды АЛТИ, 25, Архангельск, 1971, 74. [3] Б. Д. Богомолов, Г. И. Попова. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1974. [4] С. Б. Пальмова, Б. Д. Богомолов, Г. И. Попова. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 1971. [5] Г. И. Попова, Б. Д. Богомолов. Труды АЛТИ, 23, Архангельск, 1970, стр. 114. [6] О. М. Соколов, Б. Д. Богомолов. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 3, 1967, 140. [7] K. Freudenberg, G. Wilke. Chem. Ber. 85, 1, 1952, 78. [8] J. Marton, E. Adler. Acta Chem. Scand., 15, 1961, 370. [9] I. M. Pepper, P. E. T. Baylis, E. Adley. Canad. J. Chem. 37, 1959, 1241. [10] I. Stone, M. Blundell. Anal. Chem., 23, 5, 1951.

Поступила 26 октября 1973 г.

УДК 634.08.86

## ИЗУЧЕНИЕ ЛИПИДОВ ЛУБА И КОРКИ КОРЫ ОСИНЫ

Е. А. ДЕМЧЕНКО

Ленинградская лесотехническая академия

Приведены результаты исследования группового состава липидов луба и корки коры осины, отобранной на различных высотах ствола.

Методом ГЖХ установлен качественный и количественный состав свободных и связанных кислот соответствующих образцов.

В зависимости от анатомического строения и физиологической активности ткани коры можно разделить на две основные группы: внутреннюю (флоэма и феллодерма) и наружную (пробковая ткань и корка).

Внутренний слой коры нами условно назван лубом (по основной его составляющей), а внешний — коркой. Соотношение слоев по высоте ствола неодинаково, поэтому для анализа отбирали соответствующие образцы из верхней, нижней и средней частей ствола. Разделение коры по слоям проводили в образцах, отобранных на различных высотах ствола: низ — 1 м от уровня земли, середина — 7, 8 м, верх — 15 м.

Липиды, выделенные из различных слоев коры, различаются не только по внешнему виду, но и по физико-химическим показателям. Масло луба жидкое, прозрачное, зеленоватого цвета, имеет характер-

Таблица 1

Компоненты	Количество компонентов, % от липидов		
	верх ствола	середина ствола	низ ствола
Липиды, % к абс. сухой коре	7,10	7,17	8,00
	<u>6,75</u>	<u>4,35</u>	<u>1,39</u>
Вещества, не растворимые в петролейном эфире	Нет	Нет	Нет
	<u>8,10</u>	<u>6,30</u>	<u>9,14</u>
Свободные кислоты	13,40	18,80	15,30
	<u>20,20</u>	<u>22,40</u>	<u>21,00</u>
Связанные	49,20	45,00	51,00
	<u>21,40</u>	<u>20,20</u>	<u>24,20</u>
Вещества, выпавшие после омыления и не растворимые в петролейном эфире	Нет	Нет	Нет
	<u>13,80</u>	<u>13,58</u>	<u>12,85</u>
Неомыляемые	19,80	20,60	21,20
	<u>21,60</u>	<u>20,20</u>	<u>20,40</u>
Глицерин	4,85	4,30	4,61
	<u>1,70</u>	<u>1,60</u>	<u>1,35</u>
Летучие + потери	5,65	4,20	0,60
	<u>6,45</u>	<u>11,37</u>	<u>9,67</u>

Примечание. В числителе данные для луба; в знаменателе — для корки.

ный запах свежесрубленного дерева; масло корки густое, грязно-желтого цвета и практически без запаха.

Групповой состав липидов луба и корки коры осины определен по общепринятой методике [7] (табл. 1). Содержание липидов в лубе по высоте ствола примерно одинаковое, а в корке увеличивается по высоте ствола. Количество глицеридов в липидах луба примерно в 2,5 раза больше, чем в липидах корки; это подтверждается еще тем, что первые содержат значительное количество связанных кислот (до 50%), в то время как содержание неомыляемых веществ в липидах луба и корки по всей высоте ствола практически одинаково.

На основании исследования группового состава липидов коры осины установлено, что жирнокислотная фракция (свободные и связанные кислоты) в липидах луба составляет свыше 60%, а в липидах корки — около 40%. Состав свободных и связанных кислот липидов соответствующих образцов коры определен методом ГЖХ на хроматографе ЛХМ-7А с программированием температуры, так как значения физических и химических констант исследуемых кислот лежат в широком интервале температур. В работе использована колонка из нержавеющей стали длиной 2 м, внутренним диаметром 4 мм. Расход газа-носителя водорода 2 л/час. В качестве неподвижной фазы применен апьезон М в количестве 12,5% от хромасорба W (80—100 меш.). Температура детектора каторометра F-26—275, дозатора 320°C, программирование температуры колонки от 120 до 320°C со скоростью 4°/мин. Анализируемые образцы в виде метиловых эфиров вводили непосредственно в колонку.

Идентификацию разделенных компонентов проводили методом метки. В табл. 2 приведены данные о составе свободных и связанных кислот липидов луба и корки коры осины.

На основании экспериментальных данных по исследованию состава жирнокислотных фракций установлено:

Кислоты	Количество кислот, % от липидов слоя					
	верх ствола		середина ствола		низ ствола	
	луб	корка	луб	корка	луб	корка
Каприновая	—	—	0,005	—	0,05	—
	—	0,02	—	0,03	0,15	0,06
Лауриновая	—	—	0,02	—	0,05	—
	0,16	0,10	—	0,03	0,13	0,10
Миристиновая	0,06	0,08	0,01	10,12	0,08	0,68
	0,24	0,08	—	0,04	0,18	0,13
Пальмитиновая	0,50	0,41	0,71	0,56	0,90	0,92
	1,88	1,23	1,98	0,55	2,35	1,44
Ненасыщенные типа C <sub>18</sub>	11,16	0,33	13,07	2,71	11,07	4,87
	43,98	—	36,45	—	44,68	—
Стеариновая	—	0,89	0,59	1,13	0,48	0,53
	—	12,95	—	16,66	0,13	13,80
Арахидиновая	0,17	—	0,39	0,31	0,91	1,12
	0,16	0,57	0,53	0,25	0,25	0,81
Бегеновая	0,12	2,36	0,54	1,05	0,26	2,35
	0,30	1,64	—	1,15	0,73	2,05
Лигноцериновая	0,12	5,80	0,50	0,10	0,09	4,14
	0,18	1,55	0,68	0,60	0,40	1,61
Церотиновая	0,11	5,19	0,69	2,17	—	4,07
	—	0,64	—	0,23	0,13	0,94
Монтановая	—	1,61	—	1,66	—	2,20
	—	0,26	1,17	0,09	0,37	0,91
Неидентифицированные	0,21	3,60	2,06	2,58	1,66	2,10
	2,14	0,64	4,20	0,41	1,50	3,00

Примечание. В числителе данные для свободных кислот; в знаменателе — для связанных.

1) независимо от положения по высоте ствола в липидах луба ненасыщенные кислоты типа C<sub>18</sub> составляют свыше 50% от липидов слоя. Среди насыщенных кислот нужно отметить пальмитиновую, наибольшее количество которой наблюдается в липидах нижней части ствола;

2) в составе жирнокислотных фракций липидов корки основными являются насыщенные кислоты. Во фракции свободных кислот бегеновая составляет до 11,7%, лигноцериновая до 28,7%, церотиновая до 25,7% и монтановая до 8%; содержание перечисленных кислот уменьшается по высоте ствола. Во фракции связанных кислот основной является насыщенная кислота C<sub>18</sub> (стеариновая), ненасыщенные кислоты практически отсутствуют.

Количественное соотношение компонентов во фракциях свободных и связанных кислот липидов луба определяли методом ГЖХ на хроматографе ЛХМ-8М с пламенным детектором. Колонка — нержавеющая сталь, длина 2,5 м, внутренний диаметр 4 мм. В качестве неподвижной фазы применяли 1-4 бутандиолсукцинат, в количестве 15% от хромосорба W (80—100 меш). Расход газа-носителя аргона 40 мл/мин, давление 2,4 атм. Температура колонки 185°C. Анализируемые образцы в виде метиловых эфиров вводили непосредственно в колонку. Иденти-

Таблица 3

Кислоты	Количество компонентов, % от липидов слоя		
	верх ствола	середина ствола	низ ствола
Олеиновая	0,39	0,49	0,18
	0,68	1,15	1,20
Линолевая	8,65	10,04	8,28
	31,80	29,20	34,40
Линоленовая	1,25	1,48	1,19
	7,95	2,93	5,10

Примечание. В числителе данные для свободных кислот; в знаменателе — для связанных.

фикацию разделенных компонентов проводили методом метки. В табл. 3 приведены данные по количественному распределению непредельных соединений во фракциях свободных и связанных кислот липидов луба коры осины. Независимо от высоты ствола основным компонентом является линолевая кислота, содержание которой колеблется от 74,5 до 80,0%; линоленовая кислота составляет около 10%, а на долю олеиновой приходится от 1,62 до 3,5%.

Большое количество непредельных жирных кислот типа  $C_{18}$  (до 80%) в липидах луба позволяет считать кору осины источником биологически активных веществ.

Немецкими учеными рассмотрен ряд ненасыщенных кислот  $C_6$ — $C_{22}$ , а также их смесей с целью выяснения связи между химическим строением кислоты и ее эффективностью как витамина F. Установлено, что линолевая кислота наиболее эффективна в этом ряду ненасыщенных кислот [9]. Другими исследователями была установлена антибактериальная активность жирных кислот в отношении грамположительных и грамотрицательных микробов [3].

Непредельные жирные кислоты обладают способностью защищать животных от множественных сублетальных доз рентгеновских облучений [8]. Отмечен положительный эффект при лечении экземы и язвенных поражений кожи витамином F [2], [6]. П. Е. Лукомским с сотрудниками [4], [5] получены убедительные результаты при изучении эффективности применения препарата «линетола» (этиловые эфиры жирных кислот льняного масла) у больных коронарным атеросклерозом. Авторы указывают на благоприятные сдвиги в показателях обмена липидов и белков.

Липиды коры осины с успехом испытаны в качестве наружного лечебного средства при некоторых кожных заболеваниях, а также как жировая основа для приготовления мазей и кремов, как витаминизированная добавка в парфюмерно-косметические изделия и, наконец, в качестве биоактивной подкормки сельскохозяйственных животных [1].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Е. А. Алексеева. Изучение химического состава липидов коры осины и разработка технологии получения из них биоактивных продуктов. Диссертация, Л., 1970.
- [2] А. С. Гусаров, В. И. Лейбман, Вестник дерматологии и венерологии, 2, 4, 7, 1959.
- [3] В. Г. Запорожская. Учебные записки Пятигорского фармацевтического института, № 1, 6, 1967, стр. 75—77.
- [4] П. Е. Лукомский, Вопросы кардиологии, 5, М., 1965.
- [5] П. Е. Лукомский. Материалы IV научной сессии государственного института витаминов, Министерство СССР, М., 1961, 99.
- [6] Е. М. Соколова. Актуальные вопросы клинической и экспериментальной медицины. Изд. Московского областного

научно-исследовательского института, 1961, 115. [7] Б. Н. Тютюников. Химия жиров. Изд-во «Пищевая промышленность», М., 1966. [8] Л. С. Черкасова. Обмен жиров и липидов, Минск, 1961. [9] H. J. Thomasson. Fette, seifen, Anstrichmittel, 57, 6, 390, 1955.

Поступила 27 мая 1974 г.

УДК 634.0.813.13

## ВЛИЯНИЕ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БУМАЖНОЙ МАССЫ

В. А. БОЛКОВ, В. И. ЮРЬЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Изучено влияние, оказываемое водными растворами гумусовых веществ, на электрокинетические параметры частиц канифольного клея и целлюлозных волокон. Показано, что гумусовые вещества повышают электроотрицательность поверхности компонентов бумажной массы и их поверхностную проводимость. Возрастает энергетический барьер между компонентами проклеиваемой бумажной массы, что может быть причиной ухудшения проклейки бумаги.

Из практики работы предприятий целлюлозно-бумажной промышленности известно, что в период повышенной цветности свежей производственной воды нарушается ход некоторых технологических процессов, например, ухудшается белизна, снижается степень проклейки бумаги. Одной из причин этих явлений может быть повышенное содержание гумусовых веществ в воде.

Настоящая статья посвящена изучению влияния, оказываемого гумусовыми веществами на такой важнейший для процессов получения бумаги параметр, как состояние двойного электрического слоя на поверхности раздела фаз в бумажной массе. В одной из работ [3] было показано увеличение электроотрицательности поверхности целлюлозных волокон в водных экстрактах гумусовых веществ из почвы. Нами изучалось действие, оказываемое препаратами гумусовых веществ, полученными методом холодной щелочной вытяжки. Экстракт дополнительно разделяли на две фракции: фульвокислоты и гуминовые кислоты [2].

Электрокинетические параметры изучали двумя методами: электрофорезом (для клеевых частиц и коллоидных растворов гумусовых веществ) и потенциалом протекания (для целлюлозных волокон и бумажной массы). Состояние двойного электрического слоя (ДЭС) определяли по отношению к трем видам равновесных растворов: дистиллированной воде; оборотной воде, соответствующей разбавлению, применяемому при получении лабораторных отливок на аппаратах Рапид-Кёттен; фильтрату, полученному после удаления волокна из бумажной массы концентрацией 1%. Рассчитывали электрокинетические параметры по обычной методике [1].

В табл. 1 представлены данные об изменении  $\zeta$ -потенциала целлюлозных волокон (целлюлоза марки Б-1 сульфитная белая) в зависимости от концентрации гумусовых веществ в равновесном растворе. Несмотря на то, что методом фотоколориметрии (на приборе ФЭК-56П) не удалось обнаружить значительной прямой адсорбции гумусовых веществ на поверхности целлюлозных волокон, изменение  $\zeta$ -потенциала, а также других характеристик ДЭС свидетельствует о проникновении гумусовых веществ в структуру двойного электрического слоя. По ме-

Таблица 1

Электрокинетические параметры  
целлюлозных волокон по отношению  
к растворам гумусовых веществ

Концентрация гумусового вещества, мг/л	pH	$E/P,$ мв/см	$K_s,$ $\frac{\text{ом}^{-1}}{\text{см}}^{-1}$	$-z,$ мв
0,0	6,99	30	84,2	13,1
	6,43	34	31,8	12,7
10	6,80	29	81,6	12,8
	6,42	33	33,8	13,3
20	6,40	26	84,6	12,4
	6,60	32	42,5	14,3
50	6,50	26	90,0	12,9
	6,70	34	47,7	15,4
100	6,23	18	158	13,5
	6,86	28	63,2	19,5
200	5,70	12	320	14,2
	6,48	20	145	25,0

Примечание. В числителе данные для фульвокислоты; в знаменателе — для гуминовой кислоты.

ре увеличения концентрации гумусовых веществ в равновесном растворе электроотрицательность поверхности целлюлозных волокон повышается. Эта тенденция проявляется сильнее в присутствии гуминовой кислоты.

Как видно из данных табл. 1, поверхностная проводимость  $K_s$  в растворах обеих фракций гумусовых веществ растет, особенно интенсивно в присутствии фульвокислоты. Потенциал течения  $E/P$ , наоборот, уменьшается наиболее значительно в случае фульвокислоты.

Величины отрицательного заряда клеевых частиц в присутствии гумусовых веществ представлены в табл. 2, из данных которой видно, что  $\zeta$ -потенциал возрастает по абсолютной величине. Мицеллы гуминовой кислоты заряжены значительно сильнее, чем коллоидные частицы фульвокислоты. Введение гумусовых веществ в коллоидный раствор высокосмоляного клея вызывает меньшее изменение заряда.

Сопоставление полученных результатов с определением порога коагуляции клеевых растворов в присутствии гумусовых веществ позволяет отметить, что несмотря на увеличение электроотрицательности поверхности клеевых частиц, при достаточно больших концентрациях гумусовых веществ, наблюдается нарушение устойчивости коллоидной системы, образование агрегатов, выпадение осадка. Это, по-видимому, связано с разрушением сольватных оболочек, защищающих, наряду с наличием заряда, клеевые частицы от слипания. Гумусовые вещества, обладающие очень большой удельной поверхностью и силовым полем, соизмеримым с соответствующим параметром коллоидного раствора смоляных кислот, могут вступать в конкуренцию с клеевыми частицами, отбирая у последних часть гидратной воды, нарушая таким образом их стабильность.

Увеличение электроотрицательности поверхностей целлюлозных волокон и клеевых частиц находит свое суммарное отражение в измене-

Таблица 2

Состав золя	Нейтральный клей	Высокосмоляной клей	Фульвокислота (ФК)	Гуминовая кислота (ГК)	Нейтральный клей + фульвокислота	Нейтральный клей + гуминовая кислота	Высокосмоляной клей + фульвокислота	Высокосмоляной клей + гуминовая кислота
- $\zeta$ - потенциал, мв	—	48,4	14,0	27,5	36,2	42,9	70,6	58,3

Таблица 3

Электрокинетические параметры бумажной массы по отношению к растворам гумусовых веществ

Состав диафрагмы	дистиллированная вода				оборотная вода				фильтрат			
	pH	$E/P$ , мв/см	$K_S$ , $ом^{-1}см^{-1}$	$-\zeta$ , мв	pH	$E/P$ , мв/см	$K_S$ , $ом^{-1}см^{-1}$	$-\zeta$ , мв	pH	$E/P$ , мв/см	$K_S$ , $ом^{-1}см^{-1}$	$-\zeta$ , мв
Бумажная масса	$\frac{4,87}{5,48}$	$\frac{52}{9}$	$\frac{33,1}{11,4}$	$\frac{7,19}{6,9}$	$\frac{4,24}{5,18}$	$\frac{21}{15}$	$\frac{31,8}{38,5}$	$\frac{1,42}{0,72}$	$\frac{3,61}{4,06}$	$\frac{1,8}{4,6}$	$\frac{332}{168}$	$\frac{7,03}{3,31}$
Бумажная масса + + 10 мг/л ФК	$\frac{4,77}{5,30}$	$\frac{53}{32}$	$\frac{47,6}{9,8}$	$\frac{7,91}{6,9}$	$\frac{4,62}{4,92}$	$\frac{30}{15}$	$\frac{33,1}{43,9}$	$\frac{1,40}{0,75}$	$\frac{3,65}{3,90}$	$\frac{5,0}{7,5}$	$\frac{324}{201}$	$\frac{6,08}{3,18}$
Бумажная масса + + 50 мг/л ФК	$\frac{4,71}{5,90}$	$\frac{54}{62}$	$\frac{19,5}{18,9}$	$\frac{7,35}{6,3}$	$\frac{4,40}{5,22}$	$\frac{22}{15}$	$\frac{45,9}{87,0}$	$\frac{1,28}{2,21}$	$\frac{3,38}{3,80}$	$\frac{1,5}{3,3}$	$\frac{319}{431}$	$\frac{4,27}{1,92}$
Бумажная масса + + 200 мг/л ФК	$\frac{5,37}{5,75}$	$\frac{71}{55}$	$\frac{19,6}{34,6}$	$\frac{7,99}{7,00}$	$\frac{4,25}{5,12}$	$\frac{21}{26}$	$\frac{75,1}{51,4}$	$\frac{2,86}{2,76}$	$\frac{3,57}{3,66}$	$\frac{3,3}{2,6}$	$\frac{420}{567}$	$\frac{3,56}{1,70}$
Бумажная масса + + 10 мг/л ГК	$\frac{5,17}{5,18}$	$\frac{49}{16}$	$\frac{37,7}{11,8}$	$\frac{7,09}{6,3}$	$\frac{4,96}{4,63}$	$\frac{14}{18}$	$\frac{48,3}{80,9}$	$\frac{0,82}{1,62}$	$\frac{3,80}{4,13}$	$\frac{2,7}{3,2}$	$\frac{262}{140}$	$\frac{8,16}{1,59}$
Бумажная масса + + 50 мг/л ГК	$\frac{5,53}{4,90}$	$\frac{38}{45}$	$\frac{31,0}{22,0}$	$\frac{6,40}{6,6}$	$\frac{4,80}{4,99}$	$\frac{17}{18}$	$\frac{122}{91,0}$	$\frac{2,45}{1,81}$	$\frac{3,83}{4,06}$	$\frac{1,2}{2,1}$	$\frac{328}{259}$	$\frac{4,69}{1,30}$
Бумажная масса + + 200 мг/л ГК	$\frac{5,91}{5,27}$	$\frac{28}{52}$	$\frac{35,0}{28,6}$	$\frac{8,15}{7,2}$	$\frac{4,91}{5,12}$	$\frac{18}{23}$	$\frac{282}{91,9}$	$\frac{2,2}{1,65}$	$\frac{3,91}{4,02}$	$\frac{2,0}{2,1}$	$\frac{478}{250}$	$\frac{2,09}{1,16}$

Примечание. В числителе данные для высокосмоляного клея (3% от веса волокна); в знаменателе — для нейтрального клея (3% от веса волокна).

ниях ДЭС на границе раздела фаз в проклеенной бумажной массе (табл. 3). Здесь тоже можно видеть повышение электроотрицательности поверхности комплекса: волокно — клеевой осадок. Несколько возрастает поверхностная проводимость, особенно в случае измерений относительно фильтрата.

Нарушение сольватных оболочек, приводящее к преждевременной коагуляции клея, наряду с обнаруженным повышением электроотрицательности поверхностей, принимающих участие в проклейке, ухудшает гидрофобность получаемой бумаги. Отрицательное влияние гумусовых веществ может быть частично уменьшено путем увеличения расхода клея и, особенно, путем повышения концентрации сульфата алюминия в системе. Однако этот путь не всегда возможен вследствие интенсивного осаждения окрашенных гумусовых веществ на целлюлозных волокнах в присутствии соединений алюминия, что может быть причиной снижения белизны получаемой бумаги. Исходя из этого в период повышенной цветности производственной воды необходимо принимать меры к отделению гумусовых веществ в системе подготовки воды для производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. О. Н. Григоров, З. П. Козьмина, А. В. Маркович, Д. А. Фридрихсберг. Электрокинетические свойства капиллярных систем. Изд. АН СССР, М., 1956, стр. 115. [2]. В. В. Пономарева. Теория подзолообразовательного процесса. Изд-во «Наука», М., 1964, стр. 115—136. [3]. Л. М. Сараева, С. Н. Иванов. Влияние солей и органических веществ, растворенных в воде, на проклейку бумаги. Журн. «Бумажная промышленность» № 1, 1970.

---

Поступила 11 марта 1974 г.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ  
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 65.011.56

АНАЛИЗ МНОГОФАЗОВОЙ СИСТЕМЫ  
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

И. В. ТУРЛАИ

Белорусский технологический институт

Излагается анализ многофазовой системы массового обслуживания для случая двух агрегатов в технологическом потоке лесозаготовок. Рассматриваются возможные состояния системы, получена вероятность незанятого и загруженного состояния агрегатов и параметры их производительностей для различного темпа поступления хлыстов. Представлены расчетные формулы для оценки производительности системы в целом.

Производственный процесс лесозаготовительного предприятия включает в себя ряд последовательных операций над предметами труда (деревьями, хлыстами, сортиментами и т. д.). Рассмотрение системы из нескольких обслуживающих установок позволяет получить характеристики функционирования системы без нарушения связей и физической природы действующих потоков. К таким системам можно отнести: погрузку — вывозку; обрубку сучьев — раскряжевку; раскряжевку — сортировку.

Рассмотрим процесс обработки дерева: обрубка сучьев — раскряжевка (раскряжевка — сортировка) на двух установках, то есть имеем частный случай многофазовой системы обслуживания. Возможны два режима функционирования системы; детерминированный и стохастический.

При первом режиме поступление деревьев на обработку происходит в заранее предусмотренные моменты времени; время обработки определено как постоянное для каждой фазы. Стохастический режим характеризуется тем, что процесс поступления деревьев является случайным, описываемым некоторой функцией распределения  $B(t)$ . Случайная величина длительности обработки деревьев на отдельных фазах определяется соответствующей функцией распределения  $H_i(t)$  ( $i = 1; 2$ ).

Функционирование многофазовой системы «обрезка сучьев — раскряжевка» может характеризоваться входящим потоком предметов труда и длительностью их обслуживания. В ряде работ [2], [4] показано, что значительная часть потоков деревьев, хлыстов, сортиментов в технологических потоках лесозаготовок является пуассоновскими. Примем, что пуассоновский закон распределения деревьев, поступающих в сучкорезную установку, характеризуется параметром  $\lambda$ . Длительность обслуживания в обеих установках распределена по показательному закону с параметрами  $\mu_1$  и  $\mu_2$ . Эти допущения основаны на том, что: 1) значительная часть потоков предметов труда, поступающих на обслуживание, описывается пуассоновским законом или производными от него; 2) оперирование этими допущениями дает возможность получить сравнительно простые и удобные для практического применения выражения, характеризующие процесс.

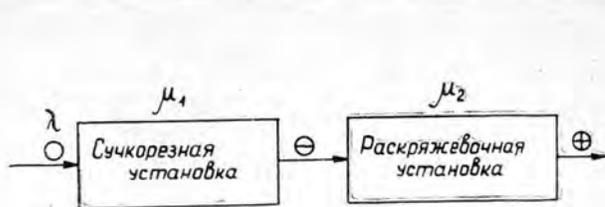


Рис. 1.

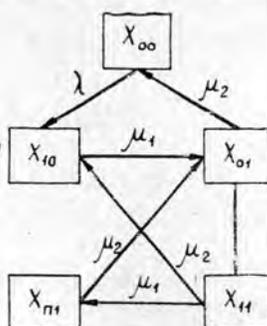


Рис. 2.

Для схемы многофазового обслуживания в случае жесткого соединения установок (рис. 1) система может находиться в одном из пяти состояний:

- 1)  $X_{00}$  — обе установки свободны;
- 2)  $X_{10}$  — первая установка занята, вторая свободна;
- 3)  $X_{01}$  — первая свободна, вторая занята;
- 4)  $X_{11}$  — обе установки заняты обработкой;
- 5)  $X_{\pi 1}$  — вторая установка занята, поэтому простаивает первая.

Схема состояний системы со всеми возможными переходами приведена на рис. 2. Необходимо найти вероятности того, что система из двух установок в момент времени  $t$  будет находиться в состоянии  $X_{ij}$  ( $i = 0; 1; \Pi$ ), ( $j = 0; 1$ ). Придадим величине  $t$  приращение  $\Delta t$  ( $\Delta t \rightarrow 0$ ) и определим вероятность того, что система будет находиться, например, в состоянии  $X_{00}$ . Очевидно, в это состояние система может прийти двумя способами: а) в момент  $t$  система находилась в состоянии  $X_{00}$  и за промежуток  $\Delta t$  не вышла из него; б) в момент  $t$  система была в состоянии  $X_{01}$ , а за промежуток  $\Delta t$  перешла в  $X_{00}$ .

Вероятность случая а) находим как произведение вероятности  $p_{00}(t)$  на условную вероятность  $1 - \lambda \Delta t$  [1] того, что система за время  $\Delta t$  не перейдет из состояния  $X_{00}$  в  $X_{10}$ . Вероятность случая б) вычисляем как вероятность  $p_{01}(t)$  нахождения системы в момент  $t$  в состоянии  $X_{01}$ , умноженную на условную вероятность  $\mu_2 \Delta t$  перехода за время  $\Delta t$  в состояние  $X_{00}$ .

Пользуясь правилом сложения вероятностей, имеем

$$p_{00}(t + \Delta t) = p_{00}(t)(1 - \lambda \Delta t) + p_{01}(t)\mu_2 \Delta t.$$

Положив  $\Delta t \rightarrow 0$ , получим дифференциальное уравнение

$$\frac{dp_{00}(t)}{dt} = -\lambda p_{00}(t) + \mu_2 p_{01}(t).$$

Согласно этому уравнению, обе установки будут не заняты одновременно, если дерево не поступило в сучкорезную установку или если хлыст уже передан на раскряжевку и разделан, а до момента окончания раскряжевki сучкорезная установка все еще свободна.

Аналогично составим уравнения, связывающие другие состояния системы

$$p_{10}(t + \Delta t) = p_{00}(t)\lambda \Delta t + p_{10}(t)(1 - \mu_1 \Delta t) + p_{11}(t)\mu_2 \Delta t;$$

$$p_{01}(t + \Delta t) = p_{10}(t)\mu_1 \Delta t + p_{01}(t)[1 - (\lambda + \mu_2) \Delta t] + p_{\pi 1}(t)\mu_2 \Delta t;$$

$$p_{11}(t + \Delta t) = p_{01}(t)\lambda \Delta t + p_{11}(t)[1 - (\mu_1 + \mu_2) \Delta t];$$

$$p_{\pi 1}(t + \Delta t) = p_{11}(t)\mu_1 \Delta t + p_{\pi 1}(t)(1 - \mu_2 \Delta t).$$

Отсюда

$$\begin{aligned}\frac{dp_{10}(t)}{dt} &= \lambda p_{00}(t) - \mu_1 p_{10}(t) + \mu_2 p_{11}(t); \\ \frac{dp_{01}(t)}{dt} &= \mu_1 p_{10}(t) - (\lambda + \mu_2) p_{01}(t) + \mu_2 p_{11}(t); \\ \frac{dp_{11}(t)}{dt} &= \lambda p_{01}(t) - (\mu_1 + \mu_2) p_{11}(t); \\ \frac{dp_{11}(t)}{dt} &= \mu_1 p_{11}(t) - \mu_2 p_{11}(t).\end{aligned}$$

Для стационарного режима [3], то есть при  $t \rightarrow \infty$ , когда система из двух установок случайным образом меняет свои состояния, но вероятность каждого из них уже не зависит от времени, будем иметь следующую систему линейных алгебраических уравнений, описывающих процесс:

$$\begin{cases} \lambda p_{00} - \mu_2 p_{01} = 0; \\ \lambda p_{00} - \mu_1 p_{10} + \mu_2 p_{11} = 0; \\ \mu_1 p_{10} - (\lambda + \mu_2) p_{01} + \mu_2 p_{11} = 0; \\ \lambda p_{01} - (\mu_1 + \mu_2) p_{11} = 0; \\ \mu_1 p_{11} - \mu_2 p_{11} = 0. \end{cases}$$

Совместно с условием

$$\sum_{i=0}^{\Pi} \sum_{j=0}^1 p_{ij} = 1; \quad (i=0; 1; \Pi); \quad (j=0; 1)$$

эти уравнения дают возможность вычислить все предыдущие вероятности

$$\begin{aligned}p_{00} &= \frac{\mu_1 \mu_2^2 (\mu_1 + \mu_2)}{C}; \\ p_{10} &= \frac{\lambda \mu_2^2 (\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{C}; \\ p_{01} &= \frac{\lambda \mu_1 \mu_2 (\mu_1 + \mu_2)}{C}; \\ p_{11} &= \frac{\lambda^2 \mu_1 \mu_2}{C}; \\ p_{11} &= \frac{\lambda^2 \mu_2^2}{C},\end{aligned}$$

где  $C = \lambda^2 \mu_1^2 + \mu_2 (\mu_1 + \mu_2) (\lambda + \mu_1) (\lambda + \mu_2)$ .

Вероятность образования запаса предметов труда (в данном случае деревьев) перед первой установкой по причине ее занятости

$$p_3 = \frac{\lambda [\lambda \mu_1^2 + \lambda \mu_1 \mu_2 + \mu_2^2 (\lambda + \mu_1 + \mu_2)]}{C}.$$

Для имеющихся параметров установок ( $\mu_1$  и  $\mu_2$ ) размер запаса

$$m_1 = \lambda p_3 T = \frac{\lambda^2 [\lambda \mu_1^2 + \lambda \mu_1 \mu_2 + \mu_2^2 (\lambda + \mu_1 + \mu_2)]}{C} \cdot T,$$

где  $T$  — среднее время занятости первой установки с учетом простоев из-за второй.

Потребный размер запаса предметов труда между установками для устранения простоев первой определится следующим образом:

$$m_2 = p_{п1} \lambda T = \frac{\lambda^3 \mu_1^2}{C} \cdot T \quad \text{при } \rho = \frac{\lambda}{\mu_1} < 1;$$

$$m_2 = p_{п1} \mu_1 T = \frac{\lambda^2 \mu_1^3}{C} \cdot T \quad \text{при } \rho = \frac{\lambda}{\mu_1} \geq 1.$$

*Пример.* Система из двух установок, сучкорезной и раскряжевочной, характеризуется следующими параметрами:  $\lambda = 0,8 \frac{\text{деревьев}}{\text{мин}}$ ;  $\mu_1 = 1, \frac{\text{деревьев}}{\text{мин}}$ ;  $\mu_2 = 0,9 \frac{\text{хлыстов}}{\text{мин}}$ ;  $T = 25 \text{ мин.}$

Находим, что необходимые размеры запасов для стабильного функционирования установок:  $m_1 = 10 \text{ деревьев}$ ,  $m_2 = 3 \text{ хлыста}$ .

Для исследования систем обслуживания, когда потоки предметов труда не являются простейшими, нами осуществлено моделирование на ЭВМ «Минск-22М» лесозаготовительных систем с учетом степени надежности агрегатов и широкого диапазона случайных процессов, описываемых функциями Эрланга

$$p(t) = 1 - e^{-\lambda t} \sum_{m=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^m}{m!},$$

где  $\lambda$  — интенсивность соответствующего процесса;

$k$  — порядок закона Эрланга ( $k = 0; 1; 2; \dots$ ).

Изменение параметра  $k$  позволило получить процессы с различной степенью последствия. На рис. 3 представлены кривые распределения

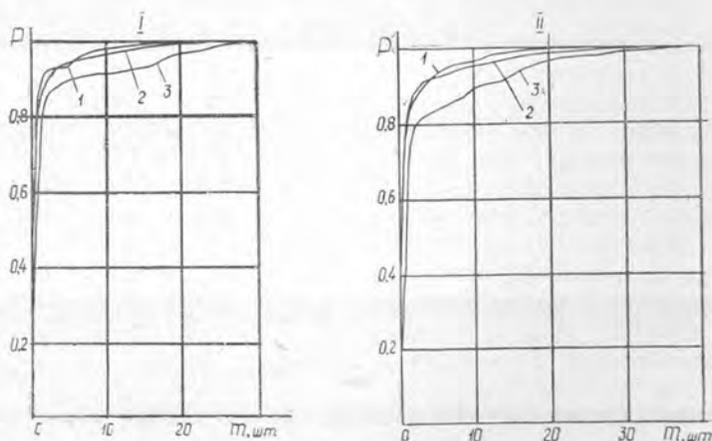


Рис. 3. Распределение запасов сортиментов перед сортировочным лесотранспортером для степени загрузки системы полочками.

$I - \rho_1 = 0,05$ ;  $II - \rho_1 = 0,1$ ; 1 — все потоки простейшие; 2 — длительность обслуживания для сортировочного лесотранспортера характеризуется законом Эрланга ( $k = 8$ ); 3 — длительность обслуживания и восстановления работоспособности распределены по законам Эрланга соответственно с  $k=4$  и  $k=3$ .

запасов сортиментов между раскряжевочной установкой и сортировочным лесотранспортером при различных параметрах случайных процессов. Зависимости получены при интенсивности поступления сортиментов на лесотранспортер  $\lambda = 4,0 \frac{\text{сортимента}}{\text{мин}}$  и интенсивности обслуживания их сортировочным лесотранспортером  $\mu_2 = 10,34 \frac{\text{сортимента}}{\text{мин}}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Е. С. Вентцель, Исследование операций, «Советское радио», 1972. [2]. Д. Л. Дудюк, Оптимизация штабелевочно-погрузочных процессов на складах лесопромышленных предприятий. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, М., 1969. [3]. И. Н. Коваленко, Исследование многолинейной системы массового обслуживания с очередью и ограниченным временем пребывания в системе. «Украинский математический журнал», т. 12, № 4, 1960. [4]. А. К. Редькин, Применение теории массового обслуживания на лесозаготовках. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1973.

Поступила 5 июля 1974 г.

УДК 674.043.001

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНТЕРВАЛА ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОГО ЧИСЛА СЛУЧАЙНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

А. Ф. НИКОЛАЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Изложена разработанная автором методика расчета вероятностных характеристик интервала выпуска продукции. Предлагаемая методика базируется на введении понятий «обобщенные плотности вероятностей», «обобщенные характеристические функции» и «нулевые дополнения». Структура этих выражений определяется постановкой задачи, особенностями исходных вероятностных характеристик и не требует сведения их к простейшим.

Анализ и синтез современных автоматизированных и автоматических систем управления деревообрабатывающим оборудованием практически невозможны без хорошо разработанных методов математического описания. Особое место занимают вероятностные методы, наиболее полно отвечающие требованиям адекватного отображения процессов с учетом всех специфических особенностей переработки древесины [4]. Теоретические аспекты этих методов разработаны весьма полно, особенно когда областью изменения случайных величин является вся вещественная ось или ее положительная часть. Затруднения в использовании общих положений теории возникают при решении большого числа важных для практики задач. В первую очередь это относится к суммированию независимых случайных величин, имеющих следующие особенности:

- 1) суммируются случайные величины смешанного типа (имеющие как непрерывное, так и дискретное распределение);
- 2) положительно распределенные величины имеют сдвинутые относительно начала координат распределения;
- 3) варианты реализации структур интервала выпуска возможны с различными вероятностями (суммируется случайное число случайных составляющих);
- 4) распределения вероятностей имеют усеченный характер.

Нами предложен метод, позволяющий простыми средствами решать задачи с перечисленными особенностями и базирующийся на использовании введенных в этой работе обобщенных плотностей вероятностей и обобщенных характеристических функций.

Метод рассмотрим на примере следующей задачи. Требуется определить вероятностные характеристики интервала выпуска изделий при условии, что продолжительность цикла имеет плотность вероятности

$i_0(u)$ , время настройки определяется распределением  $\psi_0(v)$ , а сама настройка осуществляется с вероятностью  $0 < p < 1$ .

При анализе можно установить, что задача обладает первыми тремя из перечисленных особенностями, а при некоторых ограничениях на величины плотности вероятностей включает в себя и четвертую особенность. (Эту задачу безуспешно решал А. П. Владзиевский [1], [2]).

Введем следующие обозначения:

$T_n$  — случайная величина продолжительности интервала выпуска;

$T_u$  — случайная величина времени цикла;

$T_n$  — случайная величина времени настройки.

Исходя из формулировки задачи получим следующие варианты реализации интервала выпуска:

$$\begin{aligned} T_n &= T_u + T_n \text{ с вероятностью } p; \\ T_n &= T_u \text{ с вероятностью } q = 1 - p. \end{aligned} \quad (1)$$

Формально просуммировав, найдем

$$T_n = T_u + pT_n. \quad (2)$$

Соотношение (2) нельзя использовать как определяющее вероятностные свойства. При такой трактовке структуры случайной величины  $T_n$  из рассмотрения выпадают все комбинации, при которых  $T_n = 0$ , а  $T_u \neq 0$ . С целью исключения указанной трудности введем понятие «нулевое дополнение».

Пусть случайная величина  $X_0$  проявляется в некотором эксперименте с вероятностью  $p$ , тогда

$$X = pX_0 + q\bar{X}_0, \quad (3)$$

где  $\bar{X}_0$  — нулевое дополнение (всюду тождественно равное нулю).

Это дополнение обладает следующими свойствами:

а) плотность вероятностей

$$f(x) = q\delta(x) + pf_0(x); \quad (4)$$

б) характеристическая функция

$$\Theta_x(\omega) = q + p\Theta_{x_0}(\omega). \quad (5)$$

Особенностью записи обобщенной случайной величины  $X$  через дополнение  $\bar{X}_0$  является равенство единице вероятностей появления случайной величины и ее дополнения. Можно показать, что обобщенные плотность вероятностей и характеристическая функция обладают необходимыми свойствами

$$\int_{(S)} f(x) dx = q + p \int_{(S_1)} f_0(x) dx,$$

где  $S$  — область интегрирования;

$S_1$  — область интегрирования, учитывающая свойства случайной величины  $X_0$ .

Для обобщения характеристической функции

$$\Theta_x(\omega) |_{\omega=0} = q + p\Theta_{x_0}(\omega) |_{\omega=0} = 1.$$

Это соотношение может быть выполнено только при условии, что коэффициенты усечения здесь не учитываются. В противном случае получим

$$\Theta_x(\omega)|_{\omega=0} = q + pA \neq 1,$$

где  $A$  — коэффициент усечения распределения случайной величины  $X_0$ .

Коэффициент усечения необходимо учитывать при вычислении основных характеристик через начальные моменты

$$\begin{aligned} x_{cp} &= Am_1; \\ D_x &= Am_2 - (Am_1)^2, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — начальные моменты, вычисленные без учета коэффициентов усечения.

В соответствии с изложенной выше методикой уравнение (2) примет вид

$$T_n = T_n + pT_n + q\bar{T}_n. \quad (7)$$

Если обозначить

$$X = T_n; \quad Y = pT_n + q\bar{T}_n, \quad (8)$$

то случайную величину  $T_n$  можно записать как композицию

$$T_n = X + Y. \quad (9)$$

В этом выражении случайные величины  $X$  и  $Y$  определяются обобщенными плотностями вероятностей

$$\begin{aligned} f(x) &= 0 \cdot \delta(x) + 1 \cdot f_0(x) H(x - x_{min}); \\ \psi(y) &= q \cdot \delta(y) + p\psi_0(y) H(y - y_{min}), \end{aligned} \quad (10)$$

где  $\delta(z)$  — дельта-функция Дирака;

$H(z)$  — функция Хевисайда.

Введение функции Хевисайда вызвано необходимостью учета сдвига распределений.

Используя выражения (10), с учетом свойства (9), для плотности вероятностей случайной величины  $T_n$  получим

$$\begin{aligned} W(t) &= qf_0(t) H(t - x_{min}) + \\ &+ pH(t - x_{min} - y_{min}) \int_{S_1} f_0(x) \psi_0(t - x) dx, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $S_1$  — область интегрирования.

Если ввести новые переменные

$$x' = x - x_{min}; \quad y' = y - y_{min}; \quad t' = x' - y',$$

то

$$\int_{S_1} f_0(x) \psi_0(t - x) dx = \int_0^{t'} f_0(x') \psi_0(t' - x') dx'. \quad (12)$$

С целью получения моментов различных порядков следует воспользоваться обобщенными характеристическими функциями. Привлечение кумулянтной функции здесь нецелесообразно из-за смешанного характера плотностей вероятностей (10). Кроме того, использование кумулянтной функции не позволяет при расчете учесть коэффициенты усечения (6).

Пусть Фурье-преобразования [3] исходных плотностей вероятностей имеют вид

$$\Theta_{x_0}(\omega) = \Phi[f_0(u)]; \quad \Theta_{y_0}(\omega) = \Phi[\psi_0(v)], \quad (13)$$

тогда на основе выражений (10) получим

$$\begin{aligned} \Theta_x(\omega) &= e^{i\omega x \min} \Theta_{x_0}(\omega); \\ \Theta_y(\omega) &= q + p e^{i\omega y \min} \Theta_{y_0}(\omega). \end{aligned} \quad (14)$$

Экспоненциальные множители учитывают сдвиг распределений вдоль положительной полуоси. Обобщенную характеристическую функцию случайной величины  $T_i$  определяют по общим правилам

$$\Theta_t(\omega) = \Theta_x(\omega) \cdot \Theta_y(\omega). \quad (15)$$

Если ввести новую переменную  $r = i\omega$ , то связь начальных моментов с обобщенной характеристической функцией дается соотношением

$$\left. \frac{d^k \Theta(r)}{dr^k} \right|_{r=0} = m_k. \quad (16)$$

Предлагаемую методику можно использовать во всех случаях суммирования случайных величин независимо от типа распределения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. П. Владзиевский. Некоторые вопросы эксплуатации и проектирования автоматических станочных линий. Машгиз, М., 1953, стр. 123—126. [2]. А. П. Владзиевский. Автоматические линии в машиностроении, кн. 1. Машгиз, М., 1958, стр. 338—349. [3]. Б. Р. Левин. Теоретические основы статистической радиотехники, кн. 1, изд-во «Советское радио», М., 1969, стр. 135—140. [4]. А. Ф. Николаев. Вероятностные модели в деревообработке. В сб. «Механизация и автоматизация деревообрабатывающих производств», Красноярск, 1973, стр. 32—36.

Поступила 12 февраля 1974 г.

УДК 65.012.2 : 674.02

## О РАСЧЕТЕ ЧИСЛА ДУБЛИРОВАННЫХ ОПЫТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МНОГОФАКТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

М. С. РОЗЕНБЛИТ

Московский лесотехнический институт

Получена формула для оценки числа дублированных опытов в многофакторном эксперименте при заданной точности регрессионной зависимости.

Методы планирования многофакторных экспериментов все шире применяются в деревообрабатывающей промышленности, так как, помимо прямого повышения эффективности работ, они вносят в исследование необходимую строгость, объективность и позволяют определить четкую стратегию эксперимента на разных его этапах.

На результаты опыта в деревообработке всегда влияет значительное число случайных факторов. Это объясняется изменчивостью обрабатываемого объекта — древесины. Как следствие эксперимент обычно требует постановки значительного числа опытов. В то же время планы многофакторного эксперимента, рекомендуемые для математического

описания объекта, содержат относительно небольшое число опытов. В таком случае каждый опыт должен повторяться определенное число раз. Следует рекомендовать равномерное дублирование, то есть одинаковое число дублированных опытов. При этом упрощаются вычисления коэффициентов регрессии и, что самое главное, матрица планирования эксперимента не теряет своих оптимальных свойств.

Если считать, что исследователь выбрал определенный план (например, полный или дробный факторный эксперимент, ротатабельный или В-план), то остается открытым вопрос определения необходимого числа  $n$  дублированных опытов в каждой основной серии.

При достаточно строгом подходе к этому вопросу число  $n$  следует выбирать исходя из заданной точности регрессионной зависимости, получаемой по результатам эксперимента. Рассмотрим с этих позиций вывод формулы для необходимого числа параллельных опытов при равномерном их дублировании.

Пусть зависимость выходной величины объекта  $\eta(x)$  от варьируемых факторов отыскивается в виде

$$\hat{\eta}(\bar{x}) = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i f_i(\bar{x}), \quad (1)$$

где  $b_i$  — коэффициенты регрессии, которые надо определить по результатам эксперимента;  $i = 1, 2, \dots, k$ ;

$\bar{x}$  — вектор, компонентами которого являются варьируемые факторы;

$$\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T,$$

здесь  $m$  — число варьируемых факторов.

Предположим сначала, что эксперимент состоит из  $N$  основных опытов (дублированных нет). Рассмотрим матрицу  $X$ , называемую матрицей независимых переменных

$$X = f_i(\bar{x}_j); \quad i = 1, 2, \dots, k; \quad j = 1, 2, \dots, N.$$

Матрица  $M = X^T X$  называется матрицей моментов.

Пусть теперь  $i$ -тый опыт основной серии дублирован  $n_i$  раз. Введем квадратную диагональную матрицу  $P$  с элементами  $p_{ii} = n_i$

$$P = \begin{pmatrix} n_1 & & & & \\ & n_2 & & & \\ & & \dots & & \\ & & & n_i & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & n_N \end{pmatrix}.$$

Согласно работе [4] матрица моментов

$$M = X^T P X.$$

Будем теперь дублировать опыты в нашем эксперименте равномерно, то есть  $n_i = \text{const} = n$ . Тогда  $P = nE$  (где  $E$  — единичная матрица) и

$$M = nX^T X. \quad (2)$$

Для дисперсии предсказанных значений уравнения регрессии (1) справедлива следующая оценка [2]:

$$s^2 \{ \hat{\eta}(x) \} = f^T(\bar{x}) M^{-1} f(\bar{x}) s^2(y), \quad (3)$$

где  $f(\bar{x}) = f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_k(\bar{x})^T$ ;

$s^2\{y\}$  — оценка дисперсии воспроизводимости.

При оценке точности эксперимента нас интересует, насколько значения выходной величины, вычисленные по уравнению регрессии, близки к среднему значению из  $n$  наблюдений. Степень близости этих величин характеризуется величиной доверительного интервала  $\delta$ , в котором с заданной вероятностью  $p$  находится среднее значение из  $n$  наблюдений в некоторой точке  $\bar{x}_0$ .

Доверительный интервал [3]

$$\delta = \left[ \hat{\eta}(\bar{x}_0) - t_{p, f_E} \sqrt{\frac{1}{n} + f^T(\bar{x}_0) M^{-1} f(\bar{x}_0) \cdot s\{y\}}; \right. \\ \left. \hat{\eta}(\bar{x}_0) + t_{p, f_E} \sqrt{\frac{1}{n} + f^T(\bar{x}_0) M^{-1} f(\bar{x}_0) \cdot s\{y\}} \right], \quad (4)$$

где  $t_{p, f_E}$  — 100· $p$ -процентная точка  $t$ -распределения Стьюдента с  $f_E$  степенями свободы.

Зададимся величиной

$$\beta = \frac{t_{p, f_E} \sqrt{\frac{1}{n} + f^T(\bar{x}_0) M^{-1} f(\bar{x}_0) \cdot s\{y\}}}{\hat{\eta}(\bar{x}_0)}. \quad (5)$$

Это означает, что относительное отклонение значения уравнения регрессии, вычисленного в точке  $\bar{x}_0$ , от среднего значения из  $n$  опытов, поставленных в той же точке, с вероятностью  $p$  не превышает величину  $\beta$ . Из условия (5) определим необходимое число наблюдений  $n$  в каждом опыте. Наибольшую трудность представляет вычисление величины  $f^T(\bar{x}_0) M^{-1} f(\bar{x}_0)$ . Однако для целого ряда экспериментальных планов вычислена [1] средняя по кубу дисперсия предсказанных значений регрессионной функции

$$\partial_{cp} = \frac{N \int_{-1}^{-1} \int_{-1}^{-1} \dots \int_{-1}^{-1} f^T(\bar{x}) (X^T X)^{-1} f(\bar{x}) dx_1 \dots dx_n}{2^n}. \quad (6)$$

С учетом формулы (2) выражение  $f^T(\bar{x}) M^{-1} f(\bar{x})$ , усредненное по всем точкам области планирования, имеет вид

$$f^T(\bar{x}) M^{-1} f(\bar{x}) = \frac{\partial_{cp}}{nN}. \quad (7)$$

В формулу (5) вместо значения  $\hat{\eta}(\bar{x}_0)$  подставим среднюю величину  $\bar{y}$  отдельной серии опытов, а вместо  $s\{y\}$  — среднее квадратическое отклонение, определенное по этой серии опытов; тогда  $f_E = q - 1$  (где  $q$  — число опытов в отдельной серии). В результате формулу (5) можно записать так:

$$\beta = \frac{t_{p, q-1}^2 \sqrt{\frac{N + \partial_{cp}}{nN}} \cdot s\{y\}}{\bar{y}}, \quad (8)$$

отсюда

$$n = \frac{t_{p, q-1}^2 \cdot s^2\{y\} (N + \partial_{cp})}{\beta^2 \bar{y}^2 N}. \quad (9)$$

Рассмотрим пример. Исследуем шероховатость поверхности пиломатериалов при равном пилении. Принято решение включить в эксперимент 6 варьируемых факторов и воспользоваться экспериментальным планом  $H_a - K_{0,05}$ , содержащим 44 основных опыта, то есть  $N = 44$ .

В предварительно проведенной отдельной серии число опытов  $q = 200$ ; вычисленная по результатам этой серии величина  $R_{z_{max}} = \bar{y} = 1030$  мкн, а оценка дисперсии выходной величины по результатам этих опытов  $s^2\{y\} = 63504$ . Зададимся величинами  $\rho = 0,95$ ;  $\beta = 0,05$ . Из таблицы, приведенной в работе [1], находим для плана  $H_a - K_{0,05}$  величину  $d_{cp} = 29,3$ . Подставляя эти значения в формулу (9), получим, что необходимое число  $n$  дублированных опытов в основном эксперименте должно быть не менее 154.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. П. Ф. Андрукович, Т. И. Голикова, С. Г. Костина. Планы второго порядка на гиперкубе, близкие по свойствам к Д-оптимальным. Сб. «Новые идеи в планировании эксперимента», под ред. В. В. Налимова. Изд-во «Наука», 1969. [2]. Т. И. Голикова, Н. Г. Микешина. Свойства Д-оптимальных планов и методы их построения. Сб. «Новые идеи в планировании эксперимента», под ред. В. В. Налимова, изд-во «Наука», 1969. [3]. В. Г. Горский. Некоторые методологические ошибки при обработке результатов эксперимента. Всесоюзная научная конференция по планированию и автоматизации эксперимента, МЭИ, 1970. [4]. В. Г. Горский, Ю. П. Адлер. О методологии регрессионного и дисперсионного анализа при планировании эксперимента с неравномерным дублированием опытов. Журн. «Заводская лаборатория», № 3, 1971.

Поступила 11 марта 1974 г.

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.588.8

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ  
МЕТОДОВ РЕМОНТА ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

И. Е. КУРИС

Воронежский лесотехнический институт

Предложена новая методика расчета потребности в капитальном ремонте полнокомплектных лесотранспортных машин и агрегатов. Приводятся классификация методов ремонта, критерии и расчетные формулы для оценки их технико-экономической эффективности.

Агрегаты и узлы лесотранспортных машин имеют разную прочность [2] и долговечность, определяемую техническим ресурсом, сроком службы до ремонта или списания. В связи с этим ремонт машин должен быть спланирован и организован с учетом наиболее полного использования технического ресурса отдельных и в особенности ремонтосложных элементов. Известно, что качество и трудоемкость ремонта машин зависят от выбора метода ремонта, его организации.

Оценочные критерии рациональной организации ремонта машин рекомендуются определять за единицу выполненной машиной работы: 1000 м<sup>3</sup> заготовленной или вывезенной древесины, 1000 км пробега, 10 ткм, 100 час работы. Количество оценочных критериев должно быть наименьшим, что упростит расчеты, сделает их доступными для инженеров и экономистов лесозаготовительных предприятий. Исходя из этого, мы рекомендуем восемь оценочных критериев эффективности методов ремонта лесотранспортных машин, каждый из которых, для наиболее рационального метода ремонта, должен принимать максимальные или минимальные значения:

$q_0$  — плотность отказов, характеризуемая количеством отказов за 100 час работы или 1000 км пробега машины;  $q_0 \rightarrow \min$  [2];

$C_c$  — суммарные затраты на текущий и капитальный ремонт, отнесенные к единице работы (1000 км, 100 час и т. п.);  $C_c \rightarrow \min$ ;

$P_c$  — суммарные простои в ремонте, включая простои по причинам отказов (в днях-сменах за год или в часах за 100 час работы, 1000 км пробега);  $P_c \rightarrow \min$ ;

$T_p$  — трудозатраты на ремонт в чел.-часах за 100 час работы машины или 1000 км пробега;  $T_p \rightarrow \min$ ;

$D_3$  — количество дней (смен), отработанных одной машиной за год;  $D_3 \rightarrow \max$ ;

$K_n$  — коэффициент использования парка машин;  $K_n \rightarrow \max$ ;

$K_{т.г}$  — коэффициент технической готовности;  $K_{т.г} \rightarrow \max$ ;

$W$  — объем работы, выполненной машиной за год, в принятых оценочных единицах;  $W \rightarrow \max$ .

Для определения значений отдельных показателей пользуются установленными нормативами, которые корректируются (по фактическим данным за 2—3 года работы предприятия) в соответствии с условиями эксплуатации и ремонта, возрастным составом парка и др. Корректиро-

нию подлежат межремонтные сроки службы полнокомплектных машин и их агрегатов.

Затраты на капитальный ремонт автомобилей и их агрегатов, отнесенные к 1 тыс. км пробега, определяем по формуле

$$Z_{к.р} = \frac{C_{к.р} + P_k + C_T}{L_{ц}} + \sum_{i=0}^{m} \frac{C_{к.а.і}}{L_{а.і}} \text{ руб./1000 км.} \quad (1)$$

Затраты на текущий ремонт

$$Z_{т.р} = \frac{1}{L_{ц}} \sum_{i=0}^{n_0} (C_{о.і} n_{о.і} + P_{р.і}) \text{ руб./1000 км,} \quad (2)$$

где  $L_{ц}$  — пробег автомобиля за цикл, тыс. км;

$C_{к.р}$  — себестоимость одного полнокомплектного ремонта, руб.;

$C_{к.а.і}$  — себестоимость ремонта  $i$ -того узла-агрегата, заменяемого на автомобиле, если  $L_{ц} > L_{а.і}$ ;

$m$  — количество учитываемых агрегатов-узлов;

$P_k$  — убытки от простоя автомобиля в капитальном ремонте, руб.;

$C_T$  — расходы на транспортировку автомобиля, агрегатов-узлов к месту ремонта и обратно за срок  $L_{ц}$ ;

$C_{о.і}$  — средние затраты на устранение  $i$ -тых отказов;

$n_{о.і}$  — количество отказов;

$P_{р.і}$  — убытки от простоя автомобиля в текущем ремонте, руб.;

$L_{а.і}$  — срок службы агрегата-узла до замены, тыс. км.

В формулах (1) и (2) для тракторов вместо  $L_{ц}$  и  $L_{а}$  принимают значения объемов работы в час,  $м^3$ .

Убытки от прекращения эксплуатации автомобиля или трактора в связи с его ремонтом можно определить, пользуясь установленными процентами амортизационных отчислений и плановой суммы дохода за день в рублях

$$P_y = \frac{1}{L_{ц}} \left[ \frac{C_M A_m (D_p - D_э)}{100 D_r} + (D_p - D_э) \mathcal{E}_д \right] \text{ руб./1000 км,} \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}_д$  — плановый доход, получаемый предприятием за один день эксплуатации машины, руб.;

$C_M$  — оптовая отпускная цена машины, руб.;

$A_m$  — процент амортизационных отчислений за год;

$D_p$  — количество рабочих дней в году;

$D_э$  — количество дней эксплуатации машины в год.

Для получения большего «дохода» от эксплуатации машины необходимо снизить число дней пребывания ее в ремонте и затраты на ремонт. Достижение таких условий возможно при: снижении количества (частоты) капитальных ремонтов полнокомплектных машин; наиболее полном использовании технического ресурса агрегатов-узлов машины; организации рациональной эксплуатации и технического обслуживания.

Затраты и простои машин в ремонте зависят от выбора метода их ремонта [1], [3].

Для определения эффективности методов ремонта машин нами приняты и исследованы пять методов, применяемых в настоящее время в лесной промышленности (табл. 1).

В таблице приняты следующие обозначения:

$N_{к.р}$ ,  $N'_{к.р}$  — количество капитальных ремонтов полнокомплектных машин;

Таблица 1

Метод организации ремонта	Количество ремонтов и место их выполнения		
	Капитальный ремонт		Текущий ремонт
	полнокомплектный	агрегатов и узлов	
I	На заводах; $N_{к.р} = K_{к.р}N_H$	На заводах	В РММ, АРМ на готовых агрегатах и узлах
II	На заводах; $N_{к.р} = N_{к.р}N_H$	На заводах, только двигателей	В РММ, АРМ выполняется ремонт агрегатов шасси
III	На заводах и в РММ лес-промхозов (примерно в равных количествах) $N_{к.р} = K_{к.р} \cdot N_H$	На заводах, только двигателей	В РММ, АРМ (кроме основных двигателей)
IV	На заводах $N'_{к.р} = K_p N_H$	На заводах	В РММ, АРМ на готовых агрегатах и узлах
V	Не выполняется	Ремонт всех агрегатов и узлов по потребности на заводах (за исключением радиаторов, кузовов)	Ремонт только в РММ, АРМ заменой агрегатов и узлов на оборотные

$K_{к.р}$  — коэффициент охвата парка машин полнокомплектным капитальным ремонтом, определяемый по формулам

$$K_{к.р} = \frac{L_r}{L_{ц}}; \quad K_{к.р} = \frac{T_r}{T_{ц}}; \quad K_{к.р} = \frac{L_{ам} - 1}{T \text{ лет}}; \quad (4)$$

$K_p$  — результирующий коэффициент охвата капитальным ремонтом (вероятность ремонта), определяемый как произведение коэффициентов потребности в капитальном ремонте  $m$  сложных агрегатов: рамы, двигателя заднего моста и др.

$$K_p = \frac{L_r}{L_p} \cdot \frac{L_r}{L_d} \cdot \frac{L_r}{L_{кб}} \cdots \frac{L_r}{L_i} = \prod_{i=1}^m \frac{L_r}{L_{a.i}};$$

$$K_p = \frac{T_r}{T_p} \cdot \frac{T_r}{T_d} \cdot \frac{T_r}{T_{кб}} \cdots \frac{T_r}{T_i} = \prod_{i=1}^m \frac{T_r}{T_{a.i}}, \quad (5)$$

где  $L_p, T_p, L_{кб}, T_d$  — межремонтные сроки эксплуатации (пробег или часы работы до капитального ремонта рамы, кабины, двигателя и др.);

$L_r, T_r$  — годовое плановое задание (тыс. км, час, м<sup>3</sup>).

Для установления численных показателей, по которым можно определить наиболее эффективный метод ремонта, введены частные и обобщенные коэффициенты затрат на ремонт

$$K_i = \frac{C_i}{\Sigma C_i}; \quad (6)$$

$$K_0 = \frac{\Sigma C_j}{\Sigma C_j \text{ max}}, \quad (7)$$

где  $K_0$  — коэффициент, характеризующий сравнительные затраты на все виды ремонта различными методами (для метода с максимальными затратами  $K_0 = 1$ );

Таблица 2

Метод организации ремонта	Коэффициенты себестоимости ремонта				Трудозатраты на 1000 км	
	капитального ремонта автомобиля $K_k = \frac{C_{к,р}}{\Sigma C_i}$	ремонта агрегатов и узлов $K_a = \frac{\Sigma C_a}{\Sigma C_i}$	текущего $K_T = \frac{C_T}{\Sigma C_i}$	обобщенного $K_o = \frac{\Sigma C_j}{\Sigma C_{jmax}}$	Капитальный ремонт, в т. ч. агрегатов	
					подрядным способом	хозяйственным способом
I	0,41	0,13	0,50	0,85	11	—
II	0,35	0,09	0,56	0,95	9	3
III	0,37	0,10	0,53	1,00	6	7
IV	0,24	0,31	0,45	0,74	8	—
V	—	0,33	0,67	0,90	7	—

Примечание.  $D_p$  — номинальное количество рабочих дней в году;  $D_{рем}$  — коли-

$K_i$  — частный коэффициент, характеризующий относительные затраты на  $i$ -тый вид ремонта (капитальный, ремонт узлов, текущий).

$C_i$  — затраты на выполнение  $i$ -того вида ремонта машин и ее агрегатов, руб.;

$\Sigma C_j$  — суммарные затраты на ремонт по  $i$ -тому методу, руб.;

$\Sigma C_{jmax}$  — максимальные затраты на ремонт, выполненный по одному из наиболее дорогостоящих методов ремонта, руб.

В табл. 2 приведены оценочные показатели пяти методов ремонта автомобилей МАЗ грузоподъемностью 8 Т, эксплуатируемых на вывозке леса в хлыстах в условиях горных дорог Северного Кавказа с роспуском 2Р-15. Цены за ремонт автомобиля и агрегатов приняты по отпускным ценам ремонтных заводов, а транспортные затраты — по перевозке на расстояние 100 км. Из табл. 2 видно, что наиболее рационален IV метод ремонта, предложенный по результатам выполненных автором исследований. При внедрении IV метода ремонта будут получены минимальные затраты на ремонт и достигнуто наибольшее значение коэффициента технической готовности.

Снижение затрат, выраженное количеством капитальных ремонтов на 100 списочных автомашин, при внедрении IV метода ремонта определяем по формуле

$$\Delta_{п.и} = 100 \left[ C'_{к,р} \frac{L_r}{L_u} (1 - K_p) + (P_3 - K_p)(C_{ар} - C_{р,с}) (1 - K_p) \right], \quad (8)$$

где  $C'_{к,р}$  — относительная стоимость полнокомплектного капитального ремонта (в расчетах принято  $C'_{к,р} = 1$ );

$K_p$  — значение результирующего показателя (вероятности проведения) полнокомплектного ремонта ( $0 < K_p < 1$ );

$P_3$  — вероятность замены полного комплекта агрегатов в году;

$C_{ар}$  — относительная стоимость ремонта комплекта агрегатов в стоимости ремонта автомобиля ( $C_{ар} < 1$ );

$C_{р,с}$  — относительная стоимость работ по замене агрегатов

$$P_3 = \frac{\sum_{i=0}^{i=u} (L_r - L_{a,i})}{mL_r}, \quad (9)$$

где  $u$  — количество заменяемых агрегатов в году;

$L_{a,i}$  — пробег агрегата до замены;

$L_r > L_{a,i}$  — условия для замены;

$m$  — количество основных агрегатов на машине.

Таблица 2

пробега, чел.-час		Простой, дн.			Маш.-дн. работы (без простоев в ТО-2) $D_{\text{э}} = D_{\text{р}} - (D_{\text{рем}} + D_{\text{т.о}})$	Возможное значение КТГ $\frac{D_{\text{э}}}{D_{\text{э}} + D_{\text{рем}} + D_{\text{т.о}}}$
Текущий ремонт, включающий замену агрегатов	Всего	всего для $L_{\text{ц}} = 30$ тыс. км		на 1000 км пробега		
		в капитальном ремонте	в текущем ремонте			
24	35	34	12	1,5	202	0,80
32	44	34	43	2,6	169	0,67
35	48	36	43	2,6	167	0,66
25	33	12	12	0,8	222	0,88
32	39	—	28	0,9	218	0,86

чество дней простоя в ремонте;  $D_{\text{т.о}}$  — количество дней простоя в техобслуживании.

Приняв значения показателей, приведенных в формуле, соответственно действующим нормам, и произведя расчеты, можем получить значения, характеризующие снижение затрат на ремонт при различных коэффициентах охвата автомобилей и тракторов капитальным ремонтом.

По полученным в результате расчетов показателям выполнен график, по которому можно определить величину  $\text{Э}_{\text{п.и}}$  (рис. 1).

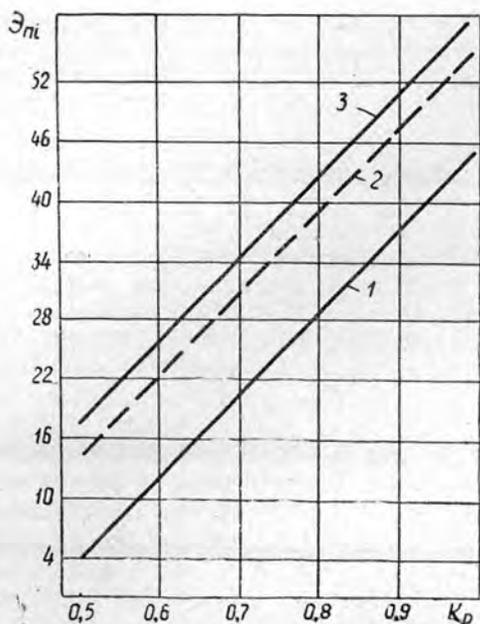


Рис. 1. Номограмма эффективности от снижения капитальных ремонтов полнокомплектных автомобилей и внедрения агрегатного метода ремонта.

1 — автомобили МАЗ (автопоезда);  
2 — тракторы ТДТ-75; 3 — автомобили МАЗ (прочие работы).

Общая сумма экономии средств, полученных от снижения количества капитальных ремонтов полнокомплектных машин при внедрении IV метода ремонта,

$$\Sigma C_{\text{э}} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{i=n} N_{\text{н.и}} \text{Э}_{\text{п.и}} C_{\text{к.р.и}} \text{ руб./год,} \quad (10)$$

где  $n$  — количество моделей машин;

$N_{\text{н.и}}$  — количество машин  $i$ -той модели;

$C_{\text{к.р.и}}$  — стоимость единицы полнокомплектного капитального ремонта, руб.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. И. Е. Курис. К вопросу о рациональных методах ремонта лесной техники. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1965. [2]. И. Е. Курис. Резервы повышения производительности лесовозных машин. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 6, 1969. [3]. И. Е. Курис. Организация ремонта машин в лесном хозяйстве. Журн. «Лесное хозяйство» № 8, 1970.

Поступила 2 сентября 1974 г.

УДК 634.061

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ ЛЕСНЫХ УГОДИЙ

Л. И. ИЛЬЕВ

Воронежский лесотехнический институт

Экономическая оценка земли необходима при создании земельного кадастра страны, решении задачи рационального и наиболее полного использования каждого гектара земельного угодья. В основу цены лесной земли должны быть положены следующие факторы: иррациональная форма стоимости (собственно цена земли), ценность наличного древесного запаса и других полезных продуктов леса, оценка потери «лесохозяйственного потенциала» (накопленная энергия роста и развития древостоев в определенном возрасте), оценка защитных свойств лесного угодья и стоимость производства лесных культур на компенсируемых землях.

Основоположники марксизма-ленинизма неоднократно указывали на большое значение земли в общественном производстве. Из многих аспектов многогранной проблемы оценки земли отметим вопрос об изъятии земель для нужд строительства и других целей. Его актуальность заключается в том, что темпы изъятия земель растут из года в год. Всего на индустриальные нужды с 1913 г. в нашей стране изъято из сельскохозяйственного и лесного оборота более 50 млн. га, а к 2000 г., по расчетам акад. С. Г. Струмилина, будет изъято 200—250 млн. га [3].

Введенные в действие с 1 июля 1969 г. «Основы земельного законодательства Союза ССР и союзных республик» ставят заслон бесхозяйственности в использовании земли. Отвод земель для нужд строительства должен быть экономически обоснован.

Сложность разработки методики оценки отводимых лесных земель заключается, прежде всего, в многоплановой роли лесов в общественном производстве. Выдвигаемые в нашей печати предложения, а также практическая оценка лесных земель в ряде социалистических стран носят в известной мере условный характер, то есть скорее подчинены общей хозяйственной политике, чем исходят из объективного критерия оценки экономической эффективности использования земли.

Наиболее полной и достаточно теоретически обоснованной следует признать методику экономической оценки использования важнейших видов природных ресурсов, разработанную специальной комиссией АН СССР (Москва, 1974 г.). По этой методике, экономическая оценка лесов складывается из ценности наличного древесного запаса, потенциальной ценности лесной земли, средозащитной ценности леса и ценности продукции побочного лесопользования.

Разделяя принципиально методический подход к оценке лесов, рассмотрим более обстоятельно основные факторы, влияющие на экономическую оценку отводимых лесных земель.

1. Земля не имеет стоимости и, следовательно, цены. Когда речь идет о стоимостной оценке земли, то под ценой подразумевается иррациональная форма выражения стоимости. В то же время земля обладает потребительной стоимостью: способностью производить определенное количество сельскохозяйственной продукции, древесины и др.

Поскольку земля является средством труда, то наряду с остальными производственными фондами, она должна иметь денежную оценку. Оценка земли не противоречит характеру социалистической собственности на нее.

Земля — основное средство производства в сельском и лесном хозяйстве, поэтому ее следовало бы оценить так же, как и средства производства в промышленности. Такая оценка нужна для правильного учета использования земли в тех отраслях народного хозяйства, где земля является главным средством производства, для обоснованного решения вопросов правильного использования земельных, трудовых и денежных ресурсов как в этих отраслях, так и во всем народном хозяйстве страны.

При отводе лесного участка для нужд строительства необходим строгий расчет, показывающий, что решение об изъятии наиболее рационально. Это означает, что экономия в строительстве и эксплуатации промышленного предприятия, полученная от удачного для него размещения, полностью перекроет потери лесохозяйственного производства.

Площадь испрашиваемого отвода вне всяких условий следует устанавливать на основе удельных нормативов, определяющих наиболее экономичный расход территории (в расчете на единицу мощности), достигнутый аналогичными предприятиями и производствами [2].

2. Поскольку в лесном хозяйстве земля является главным средством производства, то при оценке экономической эффективности земельного отвода для нужд строительства следует учитывать всю сумму потерь и убытков, которое понесет народное хозяйство при изъятии участка.

Здесь важно не только определить размеры потерь, но и обеспечить их возмещение в натуральном выражении. Возмещение потерь на основе принципа «гектар за гектар» еще не обеспечивает эквивалентной компенсации потерь.

Принцип эквивалентной компенсации означает необходимость восполнить не только теряемую продукцию (в натуральном измерении), но и возможности расширенного воспроизводства древесной продукции в лесном хозяйстве. Вполне очевидно, что для этого потребуются дополнительные затраты сверх тех, которые определяются компенсацией по принципу «гектар за гектар».

3. При экономической оценке отводимых лесных земель неправильно эвальвировать только ценность древесного запаса и других полезных продуктов леса. Около 130 млн. га лесов страны осуществляют защитные функции, которые зачастую невозможно воссоздать другими методами. Защитные свойства проявляются в положительном влиянии леса не только на собственно занимаемом участке, а, главным образом, на прилегающих территориях, ценность которых, в свою очередь, зависит от расположения. Как показывают наши исследования [1], ценность собственно древесины в зеленой зоне города составляет немногим более 7%. Основное значение этих лесов заключается в выполнении санитарно-гигиенических, эстетических и рекреационных функций. Не более 1% эффекта от использования древесины дают защитные насаждения вдоль автомобильных и железных дорог и т. д.

Учитывая эти обстоятельства, следует предусмотреть особую охрану тех защитных насаждений, эффективность которых выражается в несении высоких защитных свойств, санитарно-гигиенических, эстетических и рекреационных функций. Уникальная ценность и невоссоздаваемость ряда лесных угодий требует полного их изъятия из возможных к трансформации земель или введения поправочных коэффициентов, отражающих высокую ценность лесных угодий для общества. Расчеты выгоды использования земли в этих случаях не всегда определяют оптимальность решения, поскольку не удастся установить эквивалентную компенсацию уникальным лесным угодьям.

4. Специфическая особенность лесных земель — неразрывная связь с произрастающими на них древостоями. Экономической оценке должно подвергаться единство земли и древостоя, ибо только оно может представлять собой лес. Ценность и полезные свойства леса определяются через землю, являющуюся в лесных условиях одновременно и предметом, и средством труда. При этом в лесохозяйственном производстве функционирование земли в качестве средства труда занимает неизмеримо большее место, чем в качестве предмета труда. Изъятие покрытых лесом площадей связано с необходимостью прерывать период выращивания древостоев, который длится 40—100 лет и требует учета потери «лесохозяйственного потенциала». Под лесохозяйственным потенциалом понимается накопленная к возрасту спелости на конкретном лесном участке энергия роста и развития древостоя, выраженная количеством и качеством древесного запаса в денежном измерении. При изъятии лесного участка, занятого, например, средневозрастным древостоем, потеря лесохозяйственного потенциала будет выражена ценностью древесного запаса, который должен быть накоплен к возрасту спелости, за исключением затрат на выращивание.

5. Один из наиболее сложных вопросов — определение цены земли. Экономические потребности привели к появлению ряда общетеоретических концепций цены земли в социалистическом обществе и конкретных методик ее расчета.

С чисто теоретических позиций оценка земли вообще и лесной, в частности, наиболее обоснована на базе концепции дифференциальной ренты. Однако признание наличия ренты при социализме делает невозможным учет ее в абсолютных величинах в силу несовершенства существующих цен и других финансовых инструментов. Действующие, например, таксы на древесину содержат только элементы ренты. Не отрицая важности поисков совершенствования рентных отношений в лесном производстве, необходимо искать и другие подходы к решению проблемы оценки природных ресурсов.

Наука и практика предлагают различные подходы к данной проблеме как в методическом аспекте, так и с точки зрения техники расчетов компенсационных сумм. Не ставя перед собой задачу критического рассмотрения имеющихся методов оценки земли, отметим, что, на наш взгляд, в условиях товарного производства и денежной оценке земли следует придерживаться теории трудовой стоимости и принимать во внимание те вложения труда и средств, которые обеспечивают повышение плодородия почвы и обуславливают различную производительность труда на разнокачественных землях, а также затраты, связанные с освоением земель.

Основная задача выявления цены земли — определение затрат живого и овеществленного труда, которые имеют место в течение длительного времени в условиях лесных предприятий. Лесохозяйственное производство, как известно, не прерывается за весь период роста и разви-

тия леса, и ежегодно затрачиваются значительные средства на уход, содержание и охрану леса. Земля в лесном хозяйстве вместе с древесиной, в силу длительности периода производства древесины, аккумулирует ежегодные затраты труда и средств, постепенно накапливая их до максимальных размеров к возрасту спелости леса.

В условиях Воронежской области, например, на 1 га лесопокрытой площади ежегодно затрачивается в среднем на 13 руб. живого труда и на 5,4 руб. овеществленного труда. В состав затрат овеществленного труда включены оборотные средства (4 руб.) и сумма амортизационных отчислений (1,4 руб.), отнесенные к единице лесопокрытой площади. Если, например, средний возраст спелости деревьев принять в 70 лет и считать неизменными ежегодные затраты живого и овеществленного труда, общий размер затрат составит за весь период  $(13+4+1,4) \cdot 70 = 1288$  руб.

6. Естественно, что затраты труда и средств в конечном счете находят свое воплощение в качестве и количестве продукции, получаемой с единицы площади земли. Чем больше труда вкладывается в прямое или косвенное воздействие на землю, тем больше продукции мы должны получить. Если бы ценность земли измерялась только количеством затраченного труда, вне связи с объемом получаемой продукции, то ценность 1 га песчаной почвы, в которую неразумный хозяин вкладывает большое количество труда для получения минимального урожая, могла бы оказаться выше ценности 1 га тучного чернозема, с которого при меньшем количестве труда можно получить значительно больше продукции.

Мы исходили из предпосылки, что на единицу площади лесных земель затрачивается равный труд. Но вследствие разного уровня естественного плодородия лесных почв мы получаем различные показатели продуктивности. Следовательно, при средних общественно необходимых затратах труда на получение единицы продукции количество вкладываемого конкретного живого и овеществленного труда будет различным, в зависимости от уровня плодородия почв. Это дает основание считать различной и ценность земли в связи с уровнем плодородия.

Дифференцированный подход к определению цены земли обеспечивает балльная оценка земли, которая отражает зависимость продуктивности единицы площади земельных угодий от уровня плодородия. Располагая показателями средней цены 1 га лесных угодий в целом по области и оценкой земли в баллах, можно определить цену 1 га каждого конкретного лесного участка.

Резюмируя изложенное, можно сделать вывод, что принцип эквивалентности компенсации при изъятии земли из лесохозяйственного оборота соблюдается, если учтены следующие суммы: собственно цена земли; оценка потери лесохозяйственного потенциала; стоимость производства лесокультур на компенсируемых землях; ценность наличного запаса древостоя и других полезных продуктов на отводимом участке; оценка защитных свойств лесного угодья.

Функция компенсационных сумм (цены лесной земли) не сводится только к созданию финансового источника для восстановления лесохозяйственного потенциала при изъятии лесных участков (хотя и это очень важно). В цене земли должна быть заложена возможность сквозного и единого по экономической форме соизмерения народнохозяйственной эффективности при лесохозяйственном и прочем использовании земельного участка.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Л. И. Ильев, Р. Н. Гордиенко. Экономическое значение лесов зеленой зоны. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 3, 1973. [2]. Л. И. Ильев, М. А. Лопырев. Против разбазаривания земли. Журн. «Партийная жизнь» № 20, 1964. [3]. С. Г. Струмилини. О цене «даровых благ» природы. Журн. «Вопросы экономики» № 8, 1967.

Поступила 11 сентября 1974 г.

УДК 634.0.863(33)

## О МЕТОДИКЕ КАЛЬКУЛИРОВАНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ ГИДРОЛИЗНЫХ ЗАВОДОВ СПИРТО-ДРОЖЖЕВОГО ПРОФИЛЯ

В. В. МАЛЬЦЕВА

Ленинградская лесотехническая академия

Дается краткое теоретическое обоснование стоимостного метода распределения затрат комплексных процессов гидролизных заводов спирто-дрожжевого профиля. Предлагаемая методика обеспечивает калькулирование всех вырабатываемых продуктов по единому принципу.

Гидролизные предприятия осуществляют комплексную переработку пищевевого растительного сырья с использованием всех основных его компонентов. Выбор получаемых продуктов и направлений переработки гидролизного сахара определяет профиль (специализацию) гидролизного производства.

В гидролизной промышленности комплексная переработка сырья производится в основном по схемам: спирт — дрожжи; дрожжи; фурфурол — дрожжи.

Наиболее распространена схема спирто-дрожжевого производства, используемая на 18 гидролизных заводах. Комплексная переработка древесного сырья на этих заводах заключается в следующем. В результате кислотного гидролиза древесины в гидролизном аппарате образуются гидролизаты, представляющие собой водный раствор сбраживаемых (гексозных) и несбраживаемых (пентозных) сахаров. При биохимической переработке гидролизатов гексозные сахара сбраживаются, образуя основной продукт — этиловый спирт. Пентозные сахара, остающиеся в послеспиртовой барде, используют для выращивания кормовых дрожжей. Однако за последние годы все гидролизные заводы рассматриваемого профиля часть потока гидролизатов стали направлять в дрожжевое производство и выращивать дрожжи на смеси барды и гидролизата.

На некоторых предприятиях утилизируются пары самоиспарения гидролизатов, содержащих фурфурол — продукт дегидратации пентоз. Образующийся в процессе спиртового брожения углекислый газ используют для получения жидкой и твердой углекислоты.

Доля этилового спирта в общей стоимости товарной продукции гидролизных заводов в 1972 г. составила около 60%, а кормовых дрожжей — несколько выше 20%. С увеличением потока гидролизатов, направляемых в дрожжевое производство, объем производства кормовых дрожжей значительно возрастает.

Необходимое условие повышения эффективности производства — хорошо поставленный учет производственных затрат и научно обоснованное калькулирование себестоимости продукции.

Для гидролизных предприятий спирто-дрожжевого профиля эти вопросы имеют особенно большое значение; при комплексном использовании сырья калькулирование себестоимости продукции представляет еще не решенную проблему.

В настоящее время отсутствуют достаточно обоснованные рекомендации по оценке полутных полупродуктов спирто-дрожжевого производства. РВ барды оцениваются по 10 руб. за 1 т. Установленная еще в 1947 г. эта цена крайне занижена, ничем не обоснована, оторвана от фактической себестоимости общих РВ гидролизатов на гидролизных заводах. В настоящее время фактическая себестоимость общих РВ составляет 90—100 руб. за 1 т, то есть в 9—10 раз превышает действующую оценку. Кроме того, большой недостаток существующего метода оценки РВ барды по 10 руб. за 1 т заключается в применении для всех предприятий единой цены. В то же время себестоимость гидролизного сахара по заводам колеблется в широких пределах.

Газы спиртового брожения условно оцениваются по стоимости углекислого спирта на специализированных углекислотных заводах.

Фурфуролсодержащий конденсат паров самоиспарения конденсатов, служащий сырьем для получения фурфурола, вообще не оценивается. Лигнин, используемый как топливо, также является бесплатным стходом.

При калькулировании себестоимости продуктов, получаемых в комплексных процессах, наиболее широко применяются:

- 1) методы распределения затрат
  - а) натуральный;
  - б) стоимостный;
  - в) метод коэффициентов;
  - г) трудовой;
- 2) метод отключения;
- 3) комбинированные методы.

Наиболее целесообразным следует признать стоимостный метод распределения затрат комплексных процессов. Для практики заслуживают внимания показатели среднеотраслевой себестоимости аналогичных или эквивалентных продуктов специализированного отдельного производства и оптовые цены.

Для гидролизных предприятий спирто-дрожжевого профиля наиболее приемлем и практически удобен метод распределения затрат комплексных процессов пропорционально оптовым ценам на готовую продукцию.

В 1968 г. в лаборатории технико-экономических исследований БНИИ гидролиза при участии автора разработана методика распределения затрат комплексных процессов гидролизных предприятий, основанная на вычитании из оптовой цены готового продукта затрат по доработке продукта. При таком способе рентабельность каждого изделия до индивидуальной обработки одинакова, а после добавления расходов по доработке становится различной. Кроме того, методика распространялась не на все используемые полупродукты комплекса. Так, например, она не затрагивала оценки газов спиртового брожения.

В данной работе сделана попытка создать методологическое единство формирования себестоимости всех продуктов гидролизных заводов спирто-дрожжевого профиля и устранить различия в их рентабельности.

Можно считать, что комплексный процесс направлен на получение всех полезных продуктов. Отсюда представляется экономически обоснованным калькулировать все продукты комплексного производства

по единому принципу. Равная рентабельность выработки всех продуктов будет стимулировать максимальное использование предприятием всех своих сырьевых ресурсов.

Затраты комплексных процессов гидролизных заводов спирто-дрожжевого профиля распределяли по видам продуктов и полупродуктов пропорционально стоимости товарных продуктов в оптовых ценах за вычетом сумм эксплуатационных затрат по доработке полупродуктов, а также величины среднего процента прибыли.

Результаты расчета по отчетным данным гидролизных заводов за 1972 г. показывают, что оценка 1 т РВ барды возросла в 4—11 раз. Стоимость 1 т газов спиртового брожения также увеличилась в 2—3 раза. На каждом предприятии рентабельность выработки всех продуктов стала одинаковой, в то время как по действующей методике калькулирования она значительно различается. Так, например, на Бирусинском заводе рентабельность производства спирта в 1972 г. составила 7,1%, дрожжей — 36,6% и фурфурола — 83,6%. По предлагаемой методике рентабельность выработки всех указанных продуктов составил 21,4%.

В целях упрощения калькулирования целесообразно, оценив данным методом 1 т РВ барды и 1 т газов спиртового брожения в плановых расчетах, использовать полученные оценки в отчетных калькуляциях в течение всего года.

Поступила 24 сентября 1974 г.

УДК 634.0.784

## ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕСОСЕЧНОГО ПРОЦЕССА ПЛОТНОСТИ И СТРУКТУРЫ ДОРОЖНОЙ СЕТИ В ЛЕСНОМ МАССИВЕ

С. В. ПОЧИНКОВ

ЦНИИМЭ

Рассмотрены принципы оптимальной организации лесосечного процесса, формализованы основные отношения между его параметрами. Детально изучена структура целевой функции и даны аналитические выражения, связывающие ее аргументы для различных форм организации лесосечных работ и ступенчатости дорожной сети.

Исходные посылки изложены нами ранее [1], [2].

Оптимизируемыми параметрами являются:

$x_1, x_2$  — длина и ширина секции, км;

$x_3, x_4$  — расстояние между ветками и магистралями, км;

$\beta_w$  — угол примыкания грузосборочных путей в  $w$ -ом узле транспортной схемы, град;

$y$  — вектор технико-экономических параметров трелевочной машины;

$t_i$  — время на обработку пачки хлыстов (деревьев) машиной  $i$ , мин;

$z_i$  — количество машин типа  $i$  в системе;

$n_{ij}$  — количество рабочих профессии  $j$ , обслуживающих машину  $i$ .

Требуется найти векторы  $\bar{x}^*$ ,  $\bar{y}^*$ ,  $\bar{z}^*$ ,  $\bar{n}^*$ ,  $\bar{t}^*$ , при которых минимизируется сумма приведенных затрат по лесосечным и транспортным работам:

$$\min [\Phi_1 + \Phi_2].$$

Приведенные затраты по лесосечным работам рассчитывают по формуле

$$\Phi_1 = \sum z_i \left( \sum_s M_{is} \frac{1}{\Pi} + \sum_v a_v d_{iv} \right) + \sum_h H_h;$$

$$M_{ij} \sum_j n_{ij} Z_{ij},$$

где

$Z_{ij}$  — дневная заработная плата рабочих профессии  $j$ , обслуживающих машину  $i$ , руб.

$M_{i2}$  — себестоимость содержания машино-смены (без амортизации) машины  $i$ ;

$$M_{i3} = \frac{(E + r_i) K_i}{T \gamma_i};$$

здесь  $E$  — коэффициент сравнительной эффективности дополнительных капиталовложений;

$r_i$  — норма амортизации по машине  $i$ ;

$K_i$  — стоимость машины  $i$ , руб.;

$T$  — число рабочих дней в году;

$\gamma_i$  — коэффициент использования машины  $i$ ;

$$a_1 = \frac{1}{x_1 x_2 \gamma}; \quad a_2 = \frac{1}{x_1 x_2 \gamma};$$

$\Pi$  — сменная производительность (выработка) системы машин,  $m^3$ ;

$\gamma$  — удельный запас древесины в лесосеке,  $m^3/км^2$ ;

$d_{i1}$  — затраты на перебазировку одной машины  $i$  в лесосеке, руб.;

$d_{i2}$  — затраты на перебазировку одной машины  $i$  из лесосеки в лесосеку, руб.;

$$H_1 = s_0 a_1; \quad H_2 = s_1 a_1 k_5; \quad s = [2, 3] \rightarrow k = x_1; \quad s = [1, 4] \rightarrow k = x_2.$$

$s$  — ступенчатость транспортной схемы [1];

$s_0$  — затраты на устройство верхнего склада, руб.;

$s_1$  — затраты на устройство и содержание 1 км трелевочного волака, руб.

Сменная производительность системы определяется по трелевочной машине

$$\Pi = \frac{t_c}{t} \prod_j x_{1j} z_1 y_2 \varphi \varphi,$$

где  $t_c$  — продолжительность рабочей смены, мин;

$t$  — продолжительность технологического цикла, мин;

$x_1$  — коэффициент подготовительно-заключительного времени;

$x_2$  — коэффициент потерь сменного времени по техническим причинам;

$x_3$  — коэффициент потерь сменного времени по организационным причинам;

$z_1$  — количество трелевочных машин в системе;

$y_2$  — грузоподъемность трелевочной машины, количество деревьев (хлыстов);

$v$  — средний объем хлыста,  $m^3$ ;

$\varphi$  — коэффициент использования грузоподъемности трелевочной машины (зависит от породного состава, среднего объема хлыста, места обрубки сучьев, способа трелевки, рельефа, типов грунтов).

Структура и продолжительность технологического цикла зависят от способа сбора трелеваемой пачки. При механизированном сборе (валочно-пакетирующие, валочно-трелевочные машины, тракторы с гидроманипуляторами и т. д.)

$$t = \sum_{i=1}^2 p_i x_i y_1 + y_2 \sum_j y_j \varphi,$$

где  $p_1, p_2$  — коэффициенты, определяющие среднее расстояние трелевки в секции (зависят от технологической схемы, системы машин и т. д.);

$y_1$  — время пробега 1 км в грузовом и холостом направлениях, мин;

$y_2$  — время выполнения трелевочной машиной операции  $j$  в расчете на одно дерево (хлыст), мин.

Из условия равенства объемов работ по всем операциям лесосечного процесса имеем

$$t_i = t \frac{\prod_j z_{ij} z_1}{\prod_j z_{ij} z_i}.$$

При выполнении операции  $i$  вручную (или с помощью ручных инструментов) оптимальная грузоподъемность трелевочной машины

$$y_2^* = \frac{\sum_{i=1}^2 p_i x_i y_1}{\left( \frac{\tau_i z_1}{n_i} - \sum_j y_j \right) \varphi v},$$

где  $\tau_i$  — трудоемкость операции  $i$ , чел.-мин/ $m^3$ ;

$n_i$  — количество рабочих (звеньев) на операции  $i$ .

При экономико-математическом моделировании работы комплексных лесосечных бригад, оснащенных бензиномоторными пилами и тракторами с тросовой системой сбора веза, необходимо исходить из следующих положений.

Дневную выработку комплексной бригады можно регулировать путем изменения в определенных пределах количества рабочих отдельных профессий и кооперации их труда. При этом количественные и структурные изменения состава бригады должны сопровождаться принципиальными (качественными) изменениями в организации труда и технологии лесосечных работ.

Организация труда комплексных бригад и технология лесосечных работ определяются количеством валочных и трелевочных звеньев в бригаде (малые комплексные и укрупненные комплексные бригады) и принципом согласования функций звеньев (взаимодействия и отделения). Валочное звено может состоять из вальщика и его помощника или только из вальщика; трелевочное звено — из тракториста и одного или нескольких чокеровщиков или только из тракториста. При взаимодействии валочного и трелевочного звеньев валка и трелевка ведутся одновременно в одной пасеке: чокеровку и сбор веза осуществляют сов-

местно оба звена. Недостаток такой организации труда в том, что в силу непрерывного изменения расстояния трелевки в процессе разработки секций неизбежно возникают внутрицикловые простои либо трелевочного, либо валочного звена. Принцип отделения заключается в размещении валочного и трелевочного звеньев в различных пасаках («зарубах»). В этом случае потери рабочего времени могут возникнуть по причине неполной загрузки вальщика, чоковеровщика и т. д. в течение смены.

В состав укрупненной бригады могут входить либо несколько валочных звеньев при одном трелевочном, либо несколько трелевочных при одном валочном, либо несколько тех и других. При организации труда по принципу взаимодействия в укрупненную бригаду валочные звенья включаются парами (одна или две пары) и перемещаются в секции по «челночной» схеме (расстояние трелевки постоянно за весь период разработки секции). Количество трелевочных звеньев оптимизируется. При челночной схеме достигается рациональная загрузка по времени всех членов комплексной бригады.

Расчетные формулы для различных форм организации труда в лесосечных бригадах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Принцип согласования функций звеньев	Расчетные формулы для комплексных бригад	
	малой	укрупненной
Взаимодействие	$t = \left[ S_1(\tau_1 + \theta_1) + S_2 \left( \frac{L_2 y_1}{y_2 v \varphi} + \theta_2 \right) \right] \frac{4}{x_1 x_2};$ $L_2 = \sum_{i=1}^2 p_i x_i + p_3 R;$ $R = \frac{\tau_1 + U_1 - U_2}{y_1 y_2^* v \varphi};$ $R < (x_1 + x_2) \cdot 0,5;$ $S_1 = p_1 R^2; \quad S_2 = x_1 x_2 \cdot 0,5 - S_1;$ $p_1 = 0,25; \quad p_2 = 0,25; \quad p_3 = 0,5;$ $p_4 = 0,3 \div 0,5.$	$t = \sum_{i=1}^2 p_i x_i \frac{n_i y_1}{z_i} + \theta y_2 v \varphi;$ $y_2^* = \frac{\sum_{i=1}^2 p_i x_i y_1 \psi}{(\tau_1 + U_1 - U_2 \psi) v \varphi};$ $p_1 = 0,5; \quad p_2 = 0,5;$ $n_1 = 2,4; \quad z_1 = 1, 2, \dots;$ $\psi = \frac{n_1}{2z_1}.$
Отделение	$t = \sum_{i=1}^2 p_i x_i y_1 + (\theta + \xi) y_2 v \varphi;$ $d = \tau_1 - \frac{\tau_2}{n_2};$ $d < 0 \rightarrow \xi = d;$ $d > 0 \rightarrow \xi = 0;$ $y_2^* = \frac{\sum_{i=1}^2 p_i x_i y_1}{(\varphi_1 \tau_1 - \theta - \xi) v \varphi};$ $p_1 = 0,25; \quad p_2 = 0,25;$ $n_1 = 1, 2, \dots.$	$d = \frac{\tau_1}{n_1} - \frac{\tau_2}{n_2};$ $y_2^* = \frac{\sum_{i=1}^2 p_i x_i y_1}{\left( \frac{z_1}{n_1} \tau_1 \varphi_1 - \theta - \xi \right) v \varphi};$ $p_1 = 0,25; \quad p_2 = 0,25;$ $n_1 = 1, 2, \dots.$

В таблице приняты следующие обозначения:

- $\Theta$  — продолжительность операций, выполняемых последовательно с трелевкой, *мин/м<sup>3</sup>*;
- $\Theta_1$  — продолжительность операций, выполняемых последовательно с валкой, *мин/м<sup>3</sup>*;
- $U_1$  — продолжительность операций, выполняемых последовательно с валкой и параллельно с трелевкой, *мин/м<sup>3</sup>*;
- $U_2$  — продолжительность операций, выполняемых последовательно с трелевкой и параллельно с валкой, *мин/м<sup>3</sup>*;
- $\tau_1$  — трудоемкость валки леса, *чел.-мин/м<sup>3</sup>*;
- $\tau_2$  — трудоемкость обрубки сучьев, *чел.-мин/м<sup>3</sup>*;
- $n_1$  — количество валочных звеньев в бригаде;
- $n_2$  — количество сучкорубов в бригаде;
- $\varphi_1$  — коэффициент использования рабочего времени вальщика.

Продолжительность выполнения отдельных операций определяют по формуле

$$t_i = \frac{\tau_i}{\left(n_i + \sum_{j \in H_i} \sigma_{ij} n_j\right) \varphi_i^H},$$

- где  $n_i$  — количество рабочих в комплексной бригаде профессии  $i$  ( $n_i \geq 0$ );  
 $\sigma_{ij}$  — коэффициент участия рабочих  $j$  на операции  $i$ ;  
 $H_i$  — множество профессий, рабочие которых привлекаются для выполнения операции  $i$ ;  
 $\varphi_i^H$  — коэффициент, учитывающий эффект кооперации труда на операции  $i$  при участии рабочих  $H$  профессий.

Нормативы  $\tau_i$  зависят от таксационных параметров лесосечного фонда, способа трелевки, места обрубки сучьев и т. д. Формулы для их расчета могут быть получены на основе многофакторной регрессионной обработки данных хронометражных наблюдений.

В состав приведенных затрат по транспортировке леса входят: затраты на вывозку леса (машинная составляющая) по каждой сту-

Таблица 2

Расчетные формулы для ступеней			
1	2	3	4
—	$l_2 = 0,25x_4 - 0,5x_2$	—	$l_2 = 0,25x_3 - 0,5x_1$
—	—	$l_3 = (0,25x_4 - 0,5x_2) \frac{1}{\cos \beta}$	$l_3 = (0,25x_4 - 0,5x_1) \frac{1}{\cos \beta}$
$l_4 = 0,5b + \Delta_1 a$	$l_4 = 0,5(b - 0,25x_4 \operatorname{tg} \beta) + \Delta_1 a$		
—	$L_2^{Cr} = \frac{bc}{x_1}$	—	$L_2^{Cr} = \frac{bc}{x_2} \left(1 - \frac{x_1}{x_3}\right)$
—	—	$L_3^L = \frac{ab}{x_3} \left(1 - \frac{x_2}{x_4}\right)$	$L_3^L = \frac{ab}{x_3} \left(1 - \frac{x_1}{x_4}\right)$
$L_4^L = \frac{ab}{x_4} + \frac{\Delta_2 a - 0,5x_1}{mL}$			$L_4^L = \frac{ab}{x_4} + \frac{\Delta_2 a - 0,5x_3}{mL}$

пени транспортной схемы; затраты на устройство и содержание дорог по ступеням, амортизация веток и магистралей

$$\Phi_2 = \sum_i v_i l_i + (s_2 + s'_2) (1 + pu) \frac{L_2^{Cr}}{W^{Cr} \gamma} + \left( \frac{s_3}{W^L \gamma} + \frac{Es_3 + s'_3}{Q^L} \right) L_3^L + \\ + \left( \frac{s_4}{W^L \gamma} + \frac{Es_4 + s'_4}{Q^L} \right) L_4^L,$$

где  $v_i$  — стоимость кубокилометра для ступени  $i$ , руб./м<sup>3</sup>·км;  
 $l_i$  — среднее расстояние пробега по ступени  $i$ , км;  
 $L_2^{Cr}$  — протяженность усов в  $W^{Cr}$ , км;  
 $L_3^L, L_4^L$  — протяженность веток и магистралей в  $W^L$ , км;  
 $p$  — коэффициент повторного использования усов в  $W^{Cr}$ ;  
 $u$  — коэффициент затрат на укладку и разборку покрытия на усах при повторном использовании.

Формулы для расчета среднего расстояния пробега по ступеням и общей протяженности различных типов путей в элементарных базах по вариантам транспортной схемы приведены в табл. 2. Здесь  $m^L$  — количество элементарных баз продольного освоения в генеральной базе.

Ограничения на  $x_1, x_2, x_3, x_4$  для различных транспортных схем даны ранее [1]. Коэффициенты  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  приведены в табл. 3.

Таблица 3

$\Delta$	Количество магистралей в $W^L$						
	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta_1$	0	0,25	0,20	0,25	0,24	0,25	0,25
$\Delta_2$	0	0,50	0,66	0,75	0,80	0,83	0,86

### ЛИТЕРАТУРА

[1]. С. В. Починков. О постановке задач оптимизации транспортного процесса на лесозаготовках. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 1973. [2]. С. В. Починков. Система моделей оптимизации параметров лесосечно-транспортного процесса на лесозаготовках. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 6, 1973.

Поступила 23 апреля 1973 г.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 634.0.28

О МЕТОДАХ УЧЕТА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДИКОРАСТУЩИХ ЯГОДНИКОВ  
ПО СОПУТСТВУЮЩИМ И КОСВЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

В. В. ОГИЕВСКИЙ

Ленинградская лесотехническая академия

Рассмотрены сопутствующие и косвенные показатели, по которым с той или иной степенью приближения может быть установлена производительность ягодных угодий.

При лесоустроительных, проектировочных и экспедиционных работах исследователь в ряде случаев может провести на объекте только однократные наблюдения, которые совпадают лишь с одной из фенофаз или характеризуют плодоношение и урожай только для одного года, не всегда характерного по интенсивности плодоношения.

Если исследователь не имеет возможности проводить длительные, стационарные наблюдения и получать прямые показатели, характеризующие плодоношение, то он должен опираться на имеющиеся сопутствующие или косвенные показатели, чтобы с той или иной степенью приближения характеризовать производительность ягодных угодий.

При этом может быть использовано:

- 1) сопоставление изучаемых объектов с однородными, уже изученными (однотипные ягодники);
- 2) сопоставление известных фаз развития с рядами их, построенными для однородных, уже изученных объектов (фазы созревания ягод);
- 3) сопоставление объектов, на которых намечаются хозяйственные мероприятия, с однородными, на которых, эти мероприятия уже были проведены (постепенные рубки и рубки ухода);
- 4) установление взаимосвязи между развитием вегетативных органов, или биомассой, и плодоношением (плодоносящие и неплодоносящие ягодники).

При подборе объектов для сопоставления целесообразно использовать общепринятые классификационные единицы: для древесных и кустарниковых пород — обычные таксационные показатели; для ягодных кустарничков — процент ягодоносных площадей, показатели проективного покрытия, степень участия ягодных растений в растительном покрове (по Друде или Богданову), балльные оценки или шкалы урожайности, разработанные на стационарах или при экспедиционных работах.

В настоящее время в лесхозах все большее значение придается организации комплексных хозяйств, в которых должна выращиваться и использоваться не только древесина, но и так называемая «недревесная продукция», к которой относятся прежде всего ягоды. По подсчетам экономистов, продукция ягодников во многих случаях в стоимостном выражении больше древесной.

При выявлении продуктивности ягодных угодий, а равно прогнозировании урожая приходится считаться с тем, что неорганизованное население собирает еще не созревшие ягоды. Поэтому возможен полный учет только незрелых ягод.

Следующий этап работы заключается в пересчете, в соответствии с изложенными методами, полученных данных на показатели, характеризующие урожай зрелых ягод. При этом могут быть использованы предварительно составленные таблицы, проводится взвешивания (определения среднего веса ягод), обмеры ягод, установление их формового разнообразия.

В неурожайные годы, вызванные неблагоприятными погодными условиями в период цветения, нам приходилось ориентироваться на установление взаимозависимости между развитием вегетативных органов (или фитомассой) и урожаем при наличии плодоношения. На модельных экземплярах учитывали и обмеряли побеги и листья; возможно и весовое определение фитомассы.

Попутно отметим, что ягодниковые кустарнички (прежде всего, черника) имеют короткую жизнь, обладающие «долголетием», а продолжительность жизни развивающихся на них плодоносящих побегов составляет лишь несколько лет.

При проведении осушительных работ на верховых болотах урожайность клюквы из года в год последовательно снижается, и клюква постепенно выпадает из состава растительного покрова. Прогнозировать динамику этого процесса возможно, используя данные имеющихся учетов и наблюдений, проводившихся ранее на осушенных в разные сроки однородных болотах. Это поможет определить ущерб, наносимый клюквенным угодьям осушительными мероприятиями, и, быть может, найти пути для его устранения.

Аналогичным путем можно подойти и к рассмотрению вопроса о влиянии постепенных (двухприемных) рубок или рубок ухода на производительность ягодных угодий. В данном случае, при наличии ягодников черники и брусники, может иметь место и положительное влияние проводимых мероприятий на урожайность. Снижение полноты (густоты) древостоя обычно улучшает световой режим и этим способствует увеличению урожая. Таким путем можно прогнозировать оптимальные условия для ягодников.

Наиболее эффективной формой культуры ягодников, прежде всего клюквы, являются плантации. Прогнозировать развитие и плодоношение проще всего было бы путем сопоставления закладываемых плантаций с существующими. Однако у нас пока очень мало объектов, пригодных для сопоставления. Более доступен здесь кратковременный прогноз. В этих целях мы изучали показатели, характеризующие рост и развитие побегов на черенковых саженцах, их облиственность, закладывание цветочных почек в пазухах листьев, расположенных ближе к основанию побегов.

В нашей работе рассмотрены методы и способы использования сопутствующих и косвенных показателей при прогнозе и учете урожая ягодников для удовлетворения практических, текущих запросов производства. Это ни в коем случае не исключает необходимости научных долговременных исследований, которые должны использоваться как основа при применении рекомендуемых нами методов.

УДК 634.0.232

## РОСТ СОСНЫ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ В ТРОСТЯНЕЦКОМ ЛЕСХОЗЗАГЕ СУМСКОЙ ОБЛАСТИ

И. Н. ПАТЛАЙ

Красно-Тростянецкая лесная опытная станция

Приведены данные о росте климатических экотипов сосны в географических культурах второго поколения 1966 г. Наследственные особенности роста экотипов во втором поколении при семенном размножении отчетливо начинают проявляться с 3—4-летнего возраста культур.

Большинство главных лесообразующих древесных пород имеет ряд внутривидовых географических, эдафических и других форм, отличающихся по своим наследственным свойствам и экологии ([1—4] и др.).

Представляет несомненный интерес проследить, насколько устойчиво наследственные свойства географически удаленных экотипов передаются следующим поколениям при семенном размножении. Немногочисленные опыты говорят о том, что ряд особенностей деревьев сохраняется во втором и даже в третьем поколениях [2], [5]. В 1931 г. в Тростянецком лесхозе на площади 0,8 га было заложено второе поколение сосны разного географического происхождения из семян, собранных П. К. Фальковским в географических культурах В. Д. Огневского в Собичском лесничестве Сумской области. Культура находится в хорошем состоянии, но исходные данные утеряны.

Все это побудило нас заложить географическую культуру сосны второго поколения семенами, собранными в опытных географических культурах Красно-Тростянецкой ЛОС 1928—1930 гг. при свободном опылении. Описание и таксационная характеристика материнских географических культур приведены ранее ([4] и др.).

Шишки были заготовлены в декабре 1964 г., а также зимой 1966 г. (для пополнения) от 61 растущего дерева в 20 географических вариантах сосны. Деревья, по 2—4 в каждом варианте, отбирали средние по размерам, характерные для географического происхождения по форме и размеру крон и другим признакам. Средняя высота исходных материнских деревьев в 35—36 лет изменялась по вариантам от 8,8 до 20,0 м, средний диаметр — от 11,2 до 27,5 см.

Сеянцы сосны выращивали в местном питомнике в 1965 и 1967 гг. Средние размеры надземной части однолетнего посадочного материала характеризуются данными табл. 1.

Таблица 1

Географическое происхождение семян	Высота стволиков, мм		Существенность отклонения от местных
	средняя $M \pm m$	изменчивость по вариантам	
Северные (карельские, архангельские, кировские)	40 ± 0,8	40—41	—5,6
	63 ± 1,2	54—72	—3,5
Западные (белорусские, полоцкие, смоленские)	36 ± 1,4	32—39	—6,9
	67 ± 1,2	55—71	—1,9
Центральноевропейские (тамбовские, брянские, московские, воронежские)	52 ± 1,6	46—56	+0,4
	75 ± 1,3	66—85	+1,1
Поволжские (татарские, саратовские, куйбышевские, ульяновские)	40 ± 1,4	36—48	—4,8
	73 ± 1,2	64—85	+0,4
Южные горные (крымские, кавказские)	43 ± 1,5	40—46	—3,4
	75 ± 1,2	74—77	+1,1
Уральские (челябинские, ирбитские)	48 ± 2,3	47—49	—1,0
	62 ± 1,6	52—71	—3,6
Восточноказахстанские (семипалатинские, акмолинские, кокчетавские)	47 ± 1,2	42—52	—1,9
	75 ± 1,7	72—78	+1,0
Забайкальские (читинские)	52 ± 1,9	—	+0,4
	—	—	—
Местные	51 ± 1,8	—	—
	72 ± 2,3	—	—

Примечание. В числителе данные для 1965 г.; в знаменателе — для 1967 г.

Размеры всех сеянцев в 1965 г. были небольшими из-за летней жары. Существенно меньше местных оказались сеянцы сосен северного, западного и горно-уральского происхождения. Обращали на себя внимание значительные размеры и мощность сеянцев сосны местной и читинской, а также здоровый крепкий вид сеянцев южного и восточного происхождения. Объясняется это лучшим качеством посевного материала этих сосен (их семена были более крупными). У читинской сосны был значительный процент двух- и трехвершинных сеянцев.

Посадка сеянцев на постоянный опытный участок была проведена весной 1966 г. в квартале 27 Тростянецкого лесничества на площади 2,5 га.

Тип лесорастительных условий на участке — свеслая сложная суборь — С<sub>2</sub>; рельеф ровный, почва дерново-слабоподзолистая супесчаная; до рубки здесь произрастало 100-летнее чистое дубовое насаждение естественного происхождения, II класса бонитета. Размещение посадочных мест сосны 2 × 1 м, сосна в рядах чередуется с бузиной красной. Культура заложена узкими полосами 30-метровой ширины с географическим размещением вариантов. Площадь отдельных вариантов 0,05—0,15 га. Сеянцы высаживали в подготовленные полосы, уход за рядами был ручной, к настоящему времени проведено два осветления. Пополняли культуры весной 1968 г. сеянцами сосны от тех же деревьев, выращенными в 1967 г.

В первый вегетационный период из-за большой жары и сухости воздуха в конце июля — августе отпад сеянцев был значительным и средняя приживаемость культур оказалась равной 59%. Лучше других прижились сеянцы сосны местной, южного и восточноказахстанского происхождения, хуже — сосны ирбитской, некоторых поволжских, карельской.

Зимой 1967/68 гг. наблюдалось частичное повреждение трехлетних саженцев сосны от обильно выпавшего мокрого снега. Как и следовало ожидать, наиболее устойчивыми оказались сосенки северного происхождения (сломанных лишь 4%), а также восточноказахстанские (3%). Менее устойчивыми были сосны читинская и поволжские из-за значительного отложения снега на крупной хвое и ряд сосен из центральноевропейских областей из-за относительно тонких и гонких побегов (сильно повреждено от 10 до 30%).

Весной и летом 1970 г. сосна была поражена сосновым вертуном (*Melampsora pinitorqua* A. Braun.), но к концу вегетации полностью поправилась, а в 1971 г. заболевание не возобновилось. Степень повреждения не зависела от географического происхождения сосенок. Опытные культуры также значительно пострадали от обедания лосями (частично в зимние периоды 1969/70 гг. и 1970/71 гг. и в сильной степени зимой 1971/72 гг.).

Обмеры сосны и наблюдения в культуре производились ежегодно. В табл. 2 представлены результаты массового обмера высоты неповрежденных сосенок в 1968—1971 гг. Данные измерений показывают, что до шестилетнего возраста значительно медленнее местной и других быстрорастущих вариантов в географических культурах второго поколения растет сосна северного, южного горного и уральского происхождения. Хороший и удовлетворительный рост у сосны местной, белорусской, тамбовской, воронежской, из Татарии и др. Неплохо себя чувствует, против ожидания, сосна забайкальская, а также Кировская.

Наличие зависимости между энергией роста (высотой) материнских деревьев и высотой их потомства в культурах подтверждается довольно высокими достоверными коэффициентами корреляции. В 1968 г. корреляция высоты материнских деревьев с высотой 10 лучших сосенок в культурах второго поколения:

$$r = 0,291 \pm 0,173; \quad t = 1,7;$$

в 1969 г. — с общей средней высотой потомства:

$$r = 0,556 \pm 0,126; \quad t = 4,4;$$

с высотой 10 лучших:

$$r = 0,748 \pm 0,083; \quad t = 9,0;$$

в 1970 г. с общей и средней высотой:

$$r = 0,543 \pm 0,129; \quad t = 4,2;$$

с высотой 10 лучших:

$$r = 0,751 \pm 0,083; \quad t = 9,0;$$

в 1971 г. с общей средней высотой:

$$r = 0,694 \pm 0,122; \quad t = 5,7;$$

с высотой 10 лучших:

$$r = 0,743 \pm 0,106; \quad t = 7,0.$$

Зависимость высоты сосны в географических культурах второго поколения от географического происхождения семян и роста материнских деревьев выявилась уже в 1968 г. Но коэффициенты корреляции, выражающие зависимость высоты 3-летних культур от высоты материнских сосен, были недостоверны. Для культур четырехлетнего возраста и старше эта связь обнаруживается все более достоверно, следовательно, наследственность сосны с возрастом проявляется в большей степени. Более тесно связана с энергией роста материнских деревьев высота лучших сосенок, рост которых в большей мере зависит от наследственных свойств, чем от внешних условий.

Измерения веса и длины хвои показывают, что эти морфологические признаки также довольно устойчивы. Корреляция между средней длиной хвоннок материнских географических культур и географических культур второго поколения характеризуется, например, в 1969 г. коэффициентом  $r = 0,460 \pm 0,176; \quad t = 2,6$  и по абс. сухому весу  $r = 0,431 \pm 0,182; \quad t = 2,4$ .

Таким образом, имеется тенденция к сохранению типа хвои потомством. Конечно, при этом нельзя забывать о значительной природной изменчивости этих признаков, чем, вероятно, и объясняется недостаточная достоверность коэффициентов.

Весной 1971 г. Красно-Гростянецкой ЛОС были произведены искусственные внутриформовые опыления экотипов сосны на географической прививочной плантации. Это позволит заложить географическую культуру второго поколения из семян, выращенных при контролируемом опылении.

Географическое происхождение семян	Высота после окончания вегетации, см					
	1968 г.	1969 г.	1970 г.	1971 г.		
				абсолютная	% к местным	существенность отклонения от местных
Северные						
карельские	$\frac{32 \pm 1,9}{45}$	$\frac{41 \pm 2,0}{61}$	$\frac{54 \pm 3,4}{86}$	$\frac{62 \pm 4,4}{105}$	$\frac{49}{61}$	$\frac{-12,3}{-}$
архангельские	$\frac{27 \pm 1,5}{44}$	$\frac{51 \pm 1,8}{69}$	$\frac{73 \pm 2,4}{97}$	$\frac{75 \pm 3,7}{112}$	$\frac{59}{65}$	$\frac{-11,1}{-}$
кировские	$\frac{34 \pm 1,0}{52}$	$\frac{64 \pm 1,9}{89}$	$\frac{103 \pm 2,6}{138}$	$\frac{128 \pm 3,2}{176}$	$\frac{101}{102}$	$\frac{+0,2}{-}$
Западные						
полоцкие	$\frac{37 \pm 1,9}{56}$	$\frac{65 \pm 3,1}{97}$	$\frac{108 \pm 4,3}{154}$	$\frac{128 \pm 6,1}{182}$	$\frac{101}{105}$	$\frac{+0,2}{-}$
смоленские	$\frac{29 \pm 1,2}{43}$	$\frac{52 \pm 2,8}{83}$	$\frac{86 \pm 3,8}{127}$	$\frac{95 \pm 4,7}{143}$	$\frac{75}{83}$	$\frac{-5,8}{-}$
бобруйские	$\frac{38 \pm 1,0}{52}$	$\frac{73 \pm 1,7}{97}$	$\frac{115 \pm 2,2}{148}$	$\frac{134 \pm 3,0}{180}$	$\frac{106}{104}$	$\frac{+1,7}{-}$
Центральные						
тамбовские	$\frac{38 \pm 1,2}{56}$	$\frac{67 \pm 1,6}{91}$	$\frac{110 \pm 2,3}{144}$	$\frac{137 \pm 3,9}{190}$	$\frac{108}{110}$	$\frac{+2,1}{-}$
воронежские	$\frac{42 \pm 1,2}{60}$	$\frac{69 \pm 2,1}{96}$	$\frac{115 \pm 3,0}{154}$	$\frac{133 \pm 4,4}{188}$	$\frac{105}{109}$	$\frac{+1,1}{-}$
Поволжские (татарские)	$\frac{41 \pm 1,0}{58}$	$\frac{69 \pm 2,0}{93}$	$\frac{108 \pm 2,5}{141}$	$\frac{140 \pm 4,0}{188}$	$\frac{110}{109}$	$\frac{+2,6}{-}$
Южные горные						
крымские	$\frac{34 \pm 1,2}{46}$	$\frac{59 \pm 2,0}{78}$	$\frac{99 \pm 2,5}{127}$	$\frac{118 \pm 4,0}{162}$	$\frac{93}{94}$	$\frac{-1,8}{-}$
кавказские	$\frac{33 \pm 1,0}{48}$	$\frac{52 \pm 1,7}{73}$	$\frac{84 \pm 2,1}{112}$	$\frac{105 \pm 3,5}{131}$	$\frac{83}{76}$	$\frac{-4,8}{-}$

Продолжение табл. 2

Географическое происхождение семян	Высота после окончания вегетации, см					
	1968 г.	1969 г.	1970 г.	1971 г.		
				абсолютная	% к местным	существенность отклонения от местных
Уральские						
челябинские	$\frac{27 \pm 1,4}{40}$	$\frac{53 \pm 3,1}{79}$	$\frac{91 \pm 4,0}{124}$	$\frac{103 \pm 3,4}{141}$	$\frac{81}{81}$	$\frac{-5,4}{-}$
ирбитские	$\frac{29 \pm 1,6}{42}$	$\frac{51 \pm 2,6}{69}$	$\frac{80 \pm 4,6}{115}$	$\frac{87 \pm 5,7}{135}$	$\frac{60}{78}$	$\frac{-6,2}{-}$
Восточноказахстанские						
семипалатинские	$\frac{35 \pm 0,9}{52}$	$\frac{64 \pm 1,5}{84}$	$\frac{101 \pm 2,0}{128}$	$\frac{132 \pm 3,2}{174}$	$\frac{104}{101}$	$\frac{+1,1}{-}$
акмолинские	$\frac{38 \pm 1,6}{54}$	$\frac{66 \pm 2,3}{84}$	$\frac{101 \pm 2,8}{126}$	$\frac{124 \pm 4,1}{163}$	$\frac{98}{94}$	$\frac{-0,6}{-}$
кокчетавские	$\frac{37 \pm 1,2}{58}$	$\frac{61 \pm 1,6}{84}$	$\frac{96 \pm 2,3}{131}$	$\frac{123 \pm 3,8}{162}$	$\frac{97}{94}$	$\frac{-0,8}{-}$
Забайкальские (читинские)	$\frac{41 \pm 1,9}{61}$	$\frac{71 \pm 2,7}{100}$	$\frac{111 \pm 3,4}{146}$	$\frac{128 \pm 5,1}{179}$	$\frac{101}{103}$	$\frac{+0,2}{-}$
Местные (среднее)	$\frac{39 \pm 1,1}{57}$	$\frac{71 \pm 1,7}{95}$	$\frac{110 \pm 2,0}{141}$	$\frac{127 \pm 2,9}{173}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{-}{-}$

Примечание. В числителе средние из 100 измерений; в знаменателе — средние 10 лучших.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. М. М. Вересин. Влияние происхождения семян сосны обыкновенной на рост культур. Сборник докладов ученых-участников международного симпозиума по селекции, генетике и лесному семеноводству хвойных пород в г. Новосибирске, изд. ВНИИЛМ, Пушкино, 1972. [2]. О. Г. Каппер. Изучение экотипов древесных пород. Научные записки Воронежского лесохозяйственного института, т. IX, Воронежское областное книжное изд-во, 1946. [3]. В. М. Обновленский. Климатипы сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в культурах европейской части СССР. Труды Брянского лесохозяйственного института, т. IV, Брянск, 1940. [4]. И. Н. Патлай. Исследование географических культур сосны в Тростянецком лесхозе Сумской области. Сб. «Лесоводство и агролесомелиорация», Вопросы экологии леса, вып. 27, изд-во «Урожай», Киев, 1971. [5]. A. Engler. Einfluß der Provenienz des Samens auf die Eigenschaften der forstlichen Holzgewächse. 2. Mitteilung. Mitt. d. Schweiz. Centralanstalt für des forstl. versuchswesen, Bd. 10. N. 3, 1913.

УДК 634.0.231.1

## О СРАВНИТЕЛЬНОМ УЧАСТИИ ПОДРОСТА ПИХТЫ В ВОЗОБНОВЛЕНИИ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ

Е. М. БЕЗДЕНЕЖНЫХ, А. Д. НИКОЛАЙЧУК

КирНИИЛП

Излагаются результаты исследования состояния подроста пихты под пологом леса и на вырубках Кировской и восточной части Костромской областей в сравнении с состоянием елового подроста.

Среди предварительного возобновления под пологом темнохвойных лесов, наряду с елью, как правило, имеется примесь пихты. Пихтовый подрост под пологом материнских насаждений и на вырубках развивается и реагирует на условия среды несколько иначе, чем еловый.

Примесь пихты (*Abies sibirica* Ldb.) в лесах таежной зоны европейской части СССР увеличивается по мере продвижения на восток. Так, в костромских лесах пихта встречается лишь в некоторых насаждениях, где ее участие в составе не превышает 1—2 единиц. В лесах Кировской области она есть почти везде, причем чаще всего участие ее колеблется от 1 до 3—4 единиц в составе. Еще больше пихты в лесах Пермской области.

Наши наблюдения проведены в Мурашинском, Синегорском и Белохолуницком\* лесхозах Кировской области и в Кологривском и Поназыревском лесхозах Костромской области. Изучали состояние естественного возобновления в еловых и елово-лиственных насаждениях и на вырубках в черничных и близких к ним типах леса. Всего было заложено 75 пробных площадей под пологом леса и 37 — на вырубках. На исследованных вырубках был сохранен подрост. В процессе полевых работ подрост ели и пихты учитывали раздельно.

Проведенные учеты показали, что под пологом леса количество благонадежного подроста пихты в среднем составляет от 0,5 до 3 тыс. шт. на 1 га, достигая в отдельных случаях 12 тыс. шт. (табл. 1). Обнаруживается прямая зависимость его количества от участия пихты в пологе материнских насаждений. Если при одиночном участии пихты в верхнем пологе количество ее подроста составляло 0,5—0,6 тыс. шт. на 1 га, то при трех единицах в составе численность подроста пихты возрастала в среднем до 3—4 тыс. шт. на 1 га.

Разница в полнотах материнских насаждений на этих площадях не отразилась на общем количестве подроста пихты и его жизнеспособности. Пихта как порода более теневыносливая, чем ель, легче мирится с худшими условиями освещения в более полных и сомкнутых насаждениях. Среднее количество благонадежного подроста ели в полных насаждениях составило 6,3 тыс. шт. на 1 га (82%), пихты — 1,4 тыс. шт. (18%), в более редких соответственно 9,2 (87%) и 1,4 тыс. шт. (13%). Однако в насаждениях с меньшей полнотой подрост пихты развивается все же лучше и растет быстрее, чем в полных, о чем свидетельствует более высокий процент крупного подроста в таких насаждениях.

По сравнению с елью подрост пихты под пологом леса отличается несколько лучшим ростом и состоянием (рис. 1). Если процент благонадежного подроста у ели равен

\* Полевые работы выполняли Ю. Г. Санников, А. А. Санникова и Г. В. Скрипина.

Таблица 1

Участие пихты в составе древостоя	Число пробных площадей	Среднее количество благонадежного подроста пихты на 1 га, тыс. шт.*	Колесания в количестве подроста пихты на 1 га, тыс. шт.	Процент благонадежного подроста пихты
Полнота 0,8—1,0				
ЗП	4	2,7	1,2—4,3	90
2П	5	3,4	0,8—8,7	91
1П	10	1,2	0,1—3,9	89
Ед.П	16	0,5	0,1—1,5	85
Итого	35	1,4	0,1—8,7	88
Полнота 0,5—0,7				
ЗП	4	4,3	1,4—12,5	91
2П	7	1,9	0,6—3,5	85
1П	11	1,3	0,1—2,7	95
Ед.П	18	0,6	0,0—1,7	92
Итого	40	1,4	0,0—12,5	91

\* Данные о численности подроста ели на этих же пробных площадях здесь не приводятся.

72—77%, то у пихты 88—91%; процент крупного подроста (высотой более 1 м) у ели составляет 11—14, у пихты 24—36.

От общего количества подроста предварительной генерации на долю пихты приходится в среднем 15%. Среди крупного подроста доля участия пихты возрастает до 30%.

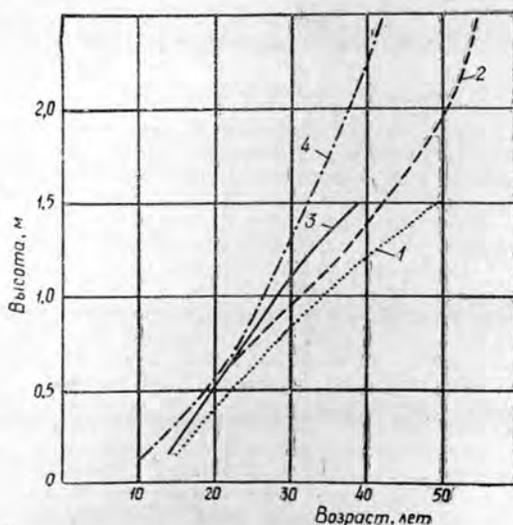


Рис. 1. Рост в высоту подроста ели и пихты под пологом леса.

1 и 2 — насаждения ели с полнотой соответственно 0,9 и 0,6;  
3 и 4 — насаждения пихты с полнотой 0,9 и 0,6.

После удаления материнского насаждения подрост пихты в сильной степени страдает из-за изменений условий среды, он хуже приживается и имеет больший отпад, чем подрост ели. По нашим данным, количество подроста ели на вырубках уменьшилось примерно в два раза (4,0 против 7,8 тыс. шт. на 1 га), количество подроста пихты на тех же пробных площадях — почти в три раза (0,5 против 1,4 тыс. шт. на 1 га). Доля участия пихты в общем составе возобновления уменьшилась. Общее состояние подроста пихты на вырубках становится хуже, чем у ели. Если процент благонадежного подроста у ели на вырубках заметно увеличивается (с 74 до 88), то у пихты, наоборот, уменьшается (с 90 до 85).

По нашим наблюдениям, на вырубках лучше сохраняется крупный подрост пихты. Под пологом леса на крупный подрост пихты приходится 29% от общего его количества.

ва, в то время как на 4—6-летних вырубках — 60% (у ели соответственно 13 и 25%). Явление худшего выживания на вырубках мелкого подроста пихты в сравнении с крупным констатирует А. М. Савченко, проводивший специальные исследования по возобновлению пихтовых лесов в Красноярском крае [2]. Одна из основных причин гибели мелкого пихтового подроста на вырубках, по нашему мнению, заключается в сильном и неоднократном повреждении молодых побегов поздними заморозками. Это наблюдение подтверждается данными Б. Ф. Окишева, который меньшую устойчивость к заморозкам пихтового подроста по сравнению с еловым объясняет более слабым развитием покровных тканей у хвои пихты [1].

Таким образом, есть основание считать, что мелкий подрост пихты при сплошнолесосечных рубках менее перспективен в отношении естественного восстановления темнохвойных лесов, чем подрост ели. Поэтому мелкий подрост пихты не следует учитывать при определении перспективного количества подроста.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. Ф. Окишев. Об устойчивости подроста ели и пихты под пологом леса и на вырубке. Сб. «Леса Урала и хозяйство в них», вып. 5, Свердловск, 1970. [2] А. М. Савченко. Возобновление пихтовых лесов. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1970.

УДК 621.933.6

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ЛЕСОПИЛЬНОЙ РАМЫ РД 75-6

В. И. КЛИВЕР, Л. А. ШАБАЛИН

Уральский лесотехнический институт

В. В. ЗЯЗИН

Вологодский завод «Северный коммунар»

Приведены результаты экспериментальных тензометрических исследований напряжений, возникающих в деталях коленчатого вала лесопильной рамы РД 75-6 на холостом ходу и при пилении.

Для создания надежных двухэтажных лесопильных рам необходимо знать напряженное состояние и динамическую нагруженность отдельных узлов и деталей, в частности, деталей коленчатого вала, так как поломка этого ответственного узла приводит к длительному простоя всего лесопильного потока.

Коленчатый вал представляет собой сложную динамическую конструкцию, состоящую из распределенных и сосредоточенных масс. При работе на детали вала действуют горизонтальные и вертикальные силы инерции шатуна, пыльной рамки, противовесов, а также силы резания, усиленные от натяжения ремешной передачи и крутящий момент. Эти силы непостоянны за один оборот кривошипа и находятся в сложной взаимосвязи. В настоящее время нет единого расчета прочности коленчатых валов лесопильных рам, а полученные в различных расчетах напряжения имеют несопоставимые величины.

Нами были проведены методом тензометрирования экспериментальные исследования напряженного состояния при изгибе коленчатого вала рамы РД 75-6. Для размещения 64 тензодатчиков сопротивлением 200 Ом с базой 20 мм (рис. 1) вдоль полувалов и пальца кривошипа были профрезерованы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях специальные пазы глубиной 2 мм и шириной 10 мм\*; одна из плоскостей совпадала с плоскостью кривошипа. Вблизи этой плоскости на поверхности деталей, как показывают анализы поломок, появляются трещины усталости. Датчики наклеивали в галтелях, местах запрессовки полувалов и пальца кривошипа в маховики, а также под подшипниками в их среднем и торцевых сечениях.

Коленчатый вал с наклеенными тензодатчиками установили на раму РД 75-6 обкаточного стэнда завода «Северный коммунар» и на раму, работающую в лесопильном потоке. Напряжения в местах наклейки датчиков измеряли при 12 пилах в поставе на холостом ходу и при пилении. В наиболее нагруженных сечениях напряжения определяли в периоды разгона, холостого хода, пиления и выбега лесопильной рамы при различном направлении вращения кривошипа. Сосновые бревна с диаметром в верхнем отрубе 40—46 см с посылками 10—35 мм распиливали пилами с плющенным зубом. Тол-

\* Наличие пазов изменяет момент инерции сечения деталей не более чем на 0,005%, поэтому им можно пренебречь. Напряжения в пазах на 2,5—3% ниже, чем на поверхности валов, и это было учтено при расшифровке осциллограмм.

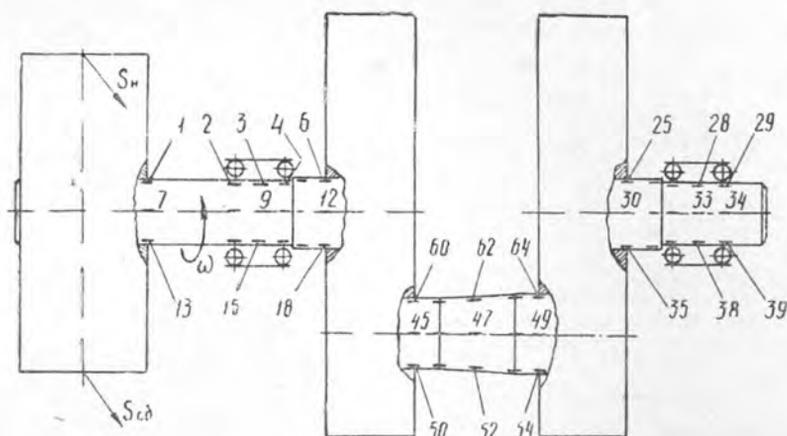


Рис. 1. Схема мест наклейки датчиков ( $S_H$  и  $S_{Cb}$  — направления натяжения набегающей и сбегающей ветвей ремня).

шина пил 2,5 мм, ширина 180 мм, угловые параметры зубьев соответствовали ГОСТу 5524—62. Перед проведением исследований производили контроль радиального и торцевого биения маховиков, радиального биения ведомого шкива, радиального зазора в коренных и шатунном подшипниках. Указанные параметры доводили до допустимых норм точности, установленных заводом-изготовителем.

В результате проведенных исследований установлено, что при разгоне лесопильной рамы напряжения во всех исследуемых сечениях увеличиваются, достигая максимального значения на холостом ходу. При пилении, из-за упругого скольжения ремня на шкивах и скольжения в электродвигателе, скорость вращения кривошипа снижается на 10—15 об/мин по сравнению с холостым ходом и вследствие этого уменьшаются напряже-

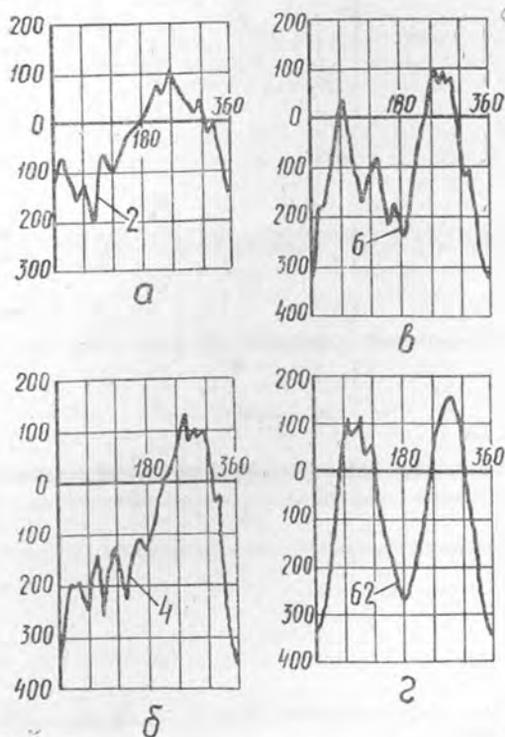


Рис. 2. Осциллограммы напряжений в сечениях приводного полувала и пальца кривошипа на холостом ходу лесопильной рамы (324 об/мин); 2, 4, 6 и 62 — номера датчиков.

ния в деталях коленчатого вала. Исследования показали, что изменение направления вращения кривошипа не влияет на экстремальные значения напряжений в местах наклейки датчиков, а только незначительно изменяются углы, при которых эти напряжения экстремальны.

Установлено также, что частота изменения напряжений по длине полувалов и пальца кривошипа в течение одного оборота неодинакова. Между датчиками 1—4 напряжения изменяются с частотой, равной скорости вращения кривошипа, а между датчиками 4—6, на поверхностях пальца кривошипа и непрерывного полувала частота изменения напряжений равна удвоенной скорости вращения кривошипа. На рис. 2 приведены осциллограммы напряжений от изгиба в наиболее характерных сечениях деталей коленчатого вала. Линии, расположенные на осциллограммах выше нулевой горизонтали, характеризуют напряжения растяжения. Угол поворота кривошипа  $\varphi = 0^\circ$  ( $360^\circ$ ) соответствует верхней мертвой точке.

По результатам исследований работы лесопильной рамы на холостом ходу построены эпюры напряжений для коленчатого вала при различных углах поворота кривошипа (рис. 3). Как видно, наибольшие напряжения в деталях коленчатого вала возникают в плоскости кривошипа в верхней мертвой точке ( $\varphi = 0^\circ$ ). В плоскости, пер-

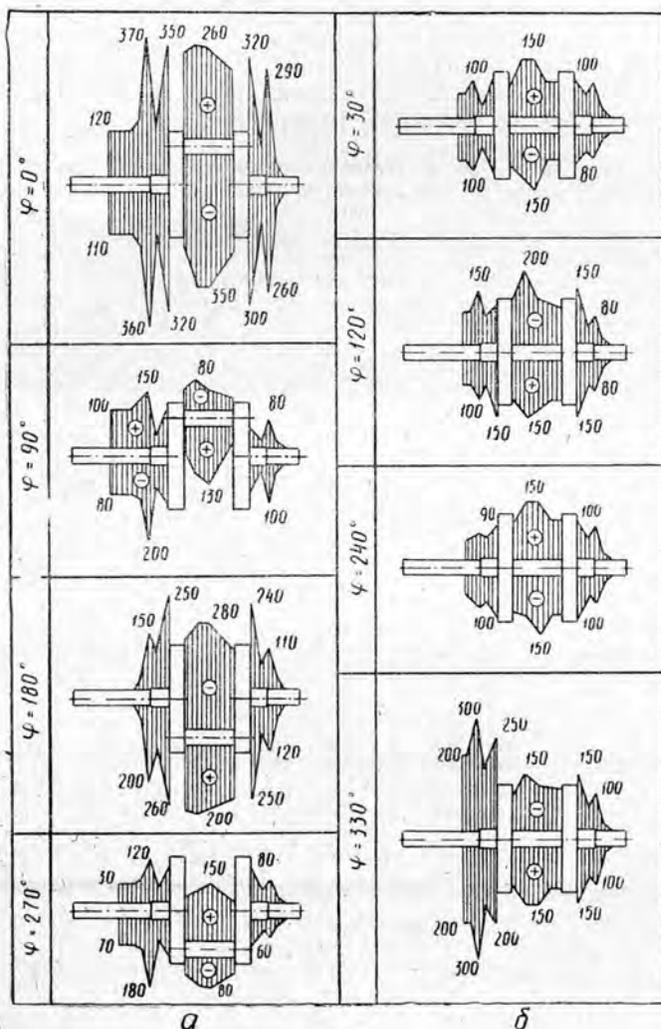


Рис. 3. Эпюры напряжений в местах наклейки датчиков.

а — в плоскости кривошипа; б — в перпендикулярной кривошипу плоскости. (Для положений б вал рассматривается со стороны его оси вращения).

пендикулярной кривошипу, напряжения экстремальны при углах 30, 120, 240, 330°. По длине деталей коленчатого вала напряжения распределяются неравномерно. Максимальные величины они достигают в сечениях галтелей, в местах запрессовки полувазов в маховики, а также посередине длины пальца кривошипа и не превышают 350—370 кгс/см<sup>2</sup>.

Если произвести расчеты на прочность деталей коленчатого вала с учетом максимальных полученных напряжений и с учетом концентраторов (галтели, места запрессовки) напряжений, то в наиболее опасных сечениях действительный коэффициент запаса прочности равен 2,5—3,3. Эти цифры говорят о том, что вал, собранный согласно нормам точности завода-изготовителя, имеет даже резерв прочности, так как допускаемые коэффициенты запаса прочности, при обычной точности расчета с привлечением экспериментальных данных по напряжениям, принимаются в пределах 1,4—1,7. На основании полученных результатов можно предположить, что несоблюдение норм точности на сборку и эксплуатацию коленчатого вала — основная причина поломок его деталей.

УДК 621.785.616

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ СТАЛИ 9ХФ

А. А. НАСТЕНКО

ЦНИИМОД

В. С. АГЕЕВ

Тульский политехнический институт

Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости модуля упругости и внутреннего трения стали 9ХФ от температуры в интервале 20—700°С. Испытывали образцы из стали после отжига, после закалки, после закалки и отпуска.

Дереворежущие пилы изготавливают обычно из стали 9ХФ. Для решения ряда технологических задач, например, упруго-пластического расчета температурных напряжений, возникающих при термопластическом методе создания начальных напряжений в дисках круглых пил, необходимо знать зависимость модуля упругости (Юнга) этой стали от ее температуры.

В данной работе определены модуль упругости  $E$  и внутреннее трение  $Q^{-1}$  стали 9ХФ в следующем состоянии: после отжига (83-87 HRC); после закалки (62-63 HRC); после закалки и отпуска на различную твердость (54-56, 45-47, 38-40 HRC). Химический состав стали: С — 0,85%; Cr — 0,55; V — 0,19; Ni — 0,10; Mn — 0,43; Si — 0,30; P — 0,022; S — 0,019%.

Технологический процесс изготовления образцов состоял из отжига, получистовой токарной обработки, термообработки и чистового шлифования. Отжиг проводили при температуре 840°С для получения одинаковой исходной структуры во всех заготовках перед дальнейшей термической обработкой. При токарной обработке последним проходом резака снимали стружку толщиной 0,1 мм, что обеспечивало минимальную пластическую деформацию поверхностного слоя образцов. Мартенситную структуру с твердостью 62-63 HRC получали закалкой образцов, которую осуществляли с 850°С в масле.

Режим отпуска (температура нагрева и время выдержки) выбирали для получения образцов с тремя значениями твердости, соответствующими твердости круглых, рамных и строгальных пил. Чистовое шлифование образцов после термообработки производили на мягких режимах с использованием смазочно-охлаждающей жидкости. Определение модуля упругости и внутреннего трения проводили методом резонансного стержня на килогерцевой установке Тульского политехнического института [1].

Образец (длиной  $180 \pm 0,1$  мм и диаметром  $8 \pm 0,01$  мм) подвешивали на вольфрамовых пятах диаметром 0,04 мм с одной стороны к генератору механических колебаний, с другой — к электродинамическому преобразователю. Электрические колебания звуковой частоты подавали от генератора 12 TESLA на возбуждатель механических колебаний типа ДЭМ-4М. Принятые приемником механические колебания преобразовывались в электрические, усиливались усилителем типа УМ-50А и подавались на осциллограф С1-19, милливольтметр и пересчетное устройство.

По максимальной амплитуде колебаний, наблюдаемой на экране осциллографа, судили о совпадении частот вынужденных и собственных колебаний образца. Модуль упругости (кг/мм<sup>2</sup>) определяли по формуле.

$$E = 1,6388 \cdot 10^{-8} \left( \frac{l}{d} \right)^4 \frac{P}{l} f_{\text{изг}}^2,$$

где  $l$  — длина образца, см;

$d$  — диаметр образца, см;

$P$  — вес образца, г;

$f_{\text{изг}}$  — частота собственных изгибных колебаний образца, гц.

Максимальная относительная ошибка модуля упругости не превышала 0,8%.

В момент возникновения резонанса одновременно с включением пересчетного устройства выключали систему возбуждения, образец находился в режиме свободных колебаний. Счетчик колебаний был отрегулирован таким образом, что отсчитывал колебания с амплитудой величиной более половины значения начального импульса, который поддерживали постоянным при измерениях. Внутреннее трение определяли по формуле

$$Q^{-1} = \frac{1}{\pi n} \ln \frac{A_0}{A},$$

где  $A_0$  — начальная амплитуда, устанавливаемая по милливольтметру;

$A$  — конечная амплитуда, определяемая чувствительностью пересчетного устройства;

$n$  — число колебаний образца за время уменьшения амплитуды от  $A_0$  до  $A$ .

Образцы нагревали с помощью электропечи сопротивления с безындуктивной обмоткой. Температуру измеряли платино — платино-родневой термопарой, горячий спай которой зачеканен в средней части контрольного образца, а холодный погружен в сосуд Дьюара с тающим льдом.

Температурные зависимости модуля упругости для вышеуказанных состояний стали 9ХФ в интервале 20—700°C приведены на рис. 1 и в табл. 1. Зависимость  $E = f(T)$  при изменении температуры от 20 до 300°C имеет практически линейный характер. В диапазоне температур от 300 до 500—550°C уменьшение модуля упругости происхо-

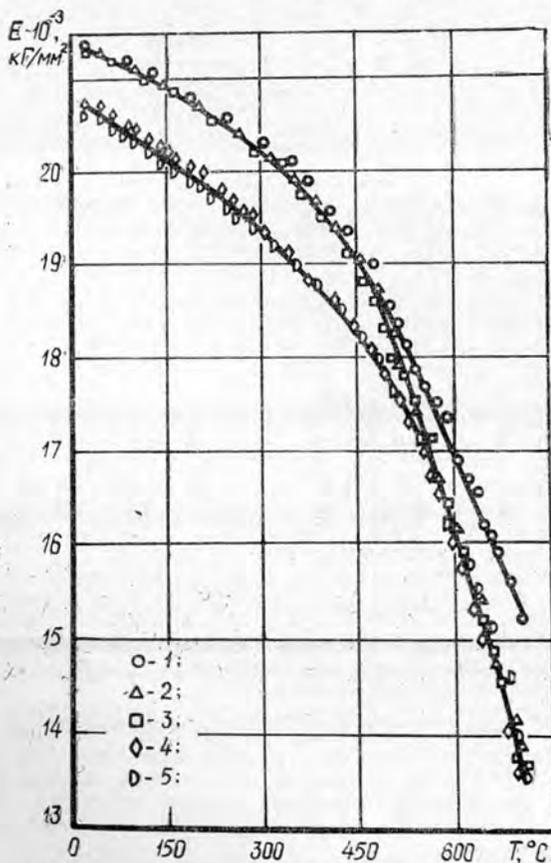


Рис. 1. Температурные зависимости модуля упругости стали 9ХФ.

1 — отожженная (83-87 HRB); 2 — отпущенная (38-40 HRC); 3 — отпущенная (45-47 HRC); 4 — отпущенная (54-55 HRC); 5 — закаленная (62-63 HRC).

Таблица 1

Сталь	Значения модуля упругости $E \cdot 10^{-3}$ (кг/мм <sup>2</sup> ) при температуре, °С							
	20	100	200	300	400	500	600	700
Отожженная (83-87 НRB)	21,40	21,14	20,76	20,32	19,57	18,49	16,98	05,23
Отпущенная (38-40 НRC)	21,39	21,14	20,69	20,23	19,54	18,15	16,22	13,85
Отпущенная (45-47 НRC)	21,33	21,06	20,63	20,21	19,40	17,98	16,11	13,72
Отпущенная (54-56 НRC)	20,76	20,44	20,05	19,38	18,66	17,73	16,00	13,49
Закаленная (62-63 НRC)	20,12	20,32	19,86	19,35	16,68	17,70	16,15	13,86

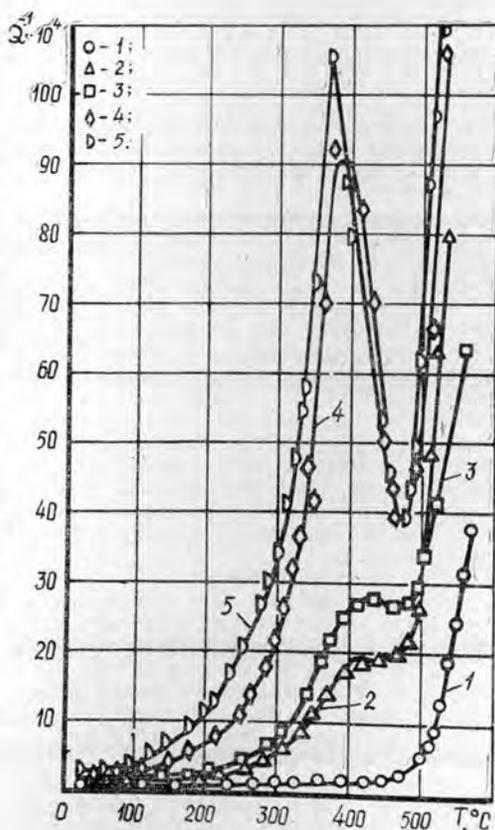
дит более интенсивно, что обусловлено структурной нестабильностью, протеканием процессов рекристаллизации и снятием остаточных напряжений. После завершения этих процессов вновь наблюдается линейное изменение модуля упругости.

Модуль упругости закаленной стали 9ХФ меньше, чем отожженной. Повышение температуры отпуска приводит к увеличению модуля упругости. Характер зависимости  $E = f(T)$  отпущенной стали 9ХФ несколько отличается от характера зависимости  $E = f(T)$  отожженной стали.

Влияние термообработки на температурные зависимости модуля упругости подтверждается данными измерений внутреннего трения. Поведение пика Кестера и высокотемпературной ветви внутреннего трения (рис. 2) коррелирует с изменением модуля упругости. Высота пика внутреннего трения в условиях фазового наклепа (после закалки) связана с уровнем локальных внутренних микронапряжений и величиной релаксационного эффекта [2]. Релаксация микронапряжений при отпуске приводит к уменьшению высоты пика Кестера.

Рис. 2. Температурные зависимости внутреннего трения стали 9ХФ.

1 — отожженная (83-87 НRB); 2 — отпущенная (38-40 НRC); 3 — отпущенная (45-47 НRC); 4 — отпущенная (54-56 НRC); 5 — закаленная (62-63 НRC).



## ЛИТЕРАТУРА

[1] М. А. Кристал, Б. М. Драпкин, Установка для одновременного определения модуля упругости, сдвига и декремента колебаний в широком интервале температур. Журн. «Заводская лаборатория», т. XXXI, № 11, 1965, стр. 1391—1393. [2] В. И. Сарран, С. О. Суворова. 200-градусный максимум внутреннего трения и остаточные микронапряжения в мартенсите. ДАН СССР, 208, № 2, 1973, стр. 338—341.

УДК 674.815-41

## О СОСТАВЕ ПЫЛИ ОТ ШЛИФОВАНИЯ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Г. Л. ДРАНИШНИКОВ, Г. Ф. ПОТУТКИН, Л. В. ШИРЯЕВА

Архангельский лесотехнический институт

Приведены результаты ситового и химического анализов пыли от шлифования древесностружечных плит. Показано, что, по сравнению с материалом древесностружечной плиты, пыль, сошлифованная с поверхности плиты, имеет повышенную зольность и содержит больше водорастворимых веществ и азота.

Многие предприятия вырабатывают шлифованные древесностружечные плиты, что в значительной степени улучшает качество их поверхности. Установленные нормы припуска на сошлифовку составляют 1—2 мм по толщине, или около 9% от объема шлифуемых плит, однако из-за несовершенства и несоблюдения технологии фактический припуск доходит до 19—23%.

При шлифовании плит образуется большое количество пыли, улавливание и использование которой позволяют снизить себестоимость продукции и уменьшить загрязнение окружающей среды [5], [8]. Так, например, пыль добавляют в стружечную смесь, что увеличивает предел прочности и уменьшает разбухание плит. Лучшие результаты получены при содержании пыли в наружном слое до 35%, во внутреннем — до 15% [5].

Древесностружечные плиты с наружными слоями из одной пыли имеют повышенные водостойкость и поверхностную твердость, а также высокое качество поверхности, однако прочность их на 15—20% ниже, чем у плит с наружными слоями из стружки [2]. На некоторых предприятиях пыль используют в качестве топлива в сушильных установках [1], [6]. Горячим прессованием смеси пыли, опилок и карбамидной смолы можно получать декоративный облицовочный материал.

Исследования, проведенные в цехе древесностружечных плит ЛДК № 4 г. Архангельска, показали возможность использования пыли вместо древесной муки при производстве пластических масс и линолеума. Этот комбинат поставляет потребителям пыль по цене 40 руб. за 1 т.

Цель настоящего исследования — изучение свойств и состава пыли от шлифования древесностружечных плит. Мы исследовали образец пыли от шлифования промышленных древесностружечных плит, изготовленных из окоренной древесины ели и сосны при расходе связующего (смола М-19-62) на наружные слои 10%, температуре прессования 170° и длительности прессования 11 мин. Плиты шлифовали в цехе на шлифовальном станке корундовым абразивом с полотняной основой.

Ситовый анализ пыли показал, что на сите с диаметром отверстий 1 мм задерживается около 1% пыли, с диаметром 0,5 мм — около 2%, с диаметром 0,25 мм — 17%. Следовательно, около 80% пыли (по весу) составляют частицы менее 0,25 мм.

Химический анализ пыли производили по методикам, принятым в химии древесины [7], содержание азота определяли полумикрометодом Кьельдаля [3], а кислотность — по ГОСТу 8540—57 (бумага и картон).

Химический анализ пыли, % от веса абс. сухой пыли:

Влажность	5,23
Зольность	0,55
Вещества, экстрагируемые горячей водой	9,50
Вещества, экстрагируемые спирто-бензолом	5,20
Лигнин (сернокислотный)	21,69
Целлюлоза (азотно-спиртовым методом)	37,53
Пентозаны (по Толленсу)	4,39
Медное число целлюлозы	3,55
Содержание азота	5,60
Кислотность пыли	0,026

Результаты показали, что состав пыли имеет некоторые существенные отличительные особенности. Так, зольность пыли значительно выше, чем у окоренной древесины хвойных пород. Содержание азота в пыли приблизительно в четыре раза больше, чем в наружных слоях плит [4]. Это можно объяснить тем, что при осмолении связующее пропитывает, в основном, поверхность древесных стружек, которые при плоском прессовании располагаются преимущественно параллельно плоскости прессования, и при шлифовании снимаются поверхностные слои стружки, более сильно просмоленные. Кроме того, может происходить и выдавливание связующего из наружного слоя на поверхность.

Из сравнений химического состава пыли с составом средней пробы опилок (с размерами частиц 0,25 мм), приготовленных из наружных слоев древесностружечных плит [4], видно, что в пыли содержится примерно в два раза больше веществ, растворимых в горячей воде. Что касается содержания веществ, экстрагируемых спирто-бензолом, содержания целлюлозы и лигнина, то здесь не отмечается существенной разницы. Однако довольно высокое медное число целлюлозы указывает на то, что целлюлоза в самых поверхностных слоях плиты подвергается значительному гидротермическому воздействию в процессе прессования и механо-химической деструкции при шлифовании плиты.

При определении новых возможных областей использования пыли от шлифования древесностружечных плит следует иметь в виду химические особенности этого материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. И. Бровин. Фанера и плиты. Реферативная информация, № 6, 173, 5. [2]. А. А. Веселов, Н. Д. Попов. Фанера и плиты. Реферативная информация, № 11, 1972, 7. [3]. Губен-Вейль. Методы органической химии. ГХИ, 11, 1963, 63. [4]. Г. Л. Дранишников, Г. Ф. Потуткин. Труды АЛТИ, 25, 1971, 49. [5]. И. Г. Корчаго. Фанера и плиты. Реферативная информация, № 6, 1969. [6]. И. А. Криворучко. Фанера и плиты. Реферативная информация, № 11, 1973, 5. [7]. А. В. Оболенская, В. П. Щеглов, Г. А. Аким, Э. Л. Коссович, И. З. Емельянова. Практические работы по химии древесины и целлюлозы. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1965. [8]. Н. Kiossefi. Holzindustrie, 3, 1974, 74—75.

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 634.0.79

ОРГАНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЛЕСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ —  
ОДНО ИЗ ВАЖНЫХ СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рецензируемая книга И. И. Грунянского и Ю. Ю. Тупыцы\* вызвала интерес у работников науки и производства, поскольку в ней освещается конкретный пример одного из решений важной народнохозяйственной проблемы рационального использования и воспроизводства лесных ресурсов. В книге обобщен опыт 11-летней работы комплексных лесных предприятий, действующих на территории Украинской и Латвийской ССР и Центральной части РСФСР.

Подводя итог работы предприятий, авторы на большом фактическом материале показывают высокую эффективность этих хозяйств, позволяющих с наибольшей полнотой использовать древесные запасы и дары леса. Выход деловой древесины по главному пользованию в 1971 г. достиг 93,7%, тогда как в 1960 г. он составлял 81,6%. Эти данные относятся к комплексным предприятиям Минлеспрома УССР, насчитывающим 34 предприятия, расположенных на территории Закарпатской, Ивано-Франковской и Черновицкой областей.

Комплексные предприятия, объединяющие лесное хозяйство, лесозаготовки, деревообработку и в ряде случаев производство мебели, возникли на основе 154 лесхозов, леспромхозов, деревообрабатывающих заводов и мебельных фабрик, действовавших в Карпатах до объединения.

Возникновение новой формы организации производства было вызвано переходом в 1957—1959 гг. к рубке леса в предлах расчетной лесосеки.

Авторы книги на фактическом материале показывают, что после создания лесокombинатов (1960—1970 гг.) лесопокрытая площадь, несмотря на ветровалы и буреломы, прокатившиеся в Карпатах в конце 50-х — начале 60-х годов, к 1970 г. возросла на 153 тыс. га, в том числе за счет хвойных пород — на 85 тыс. га, дуба — на 30 тыс. га и бука — на 31 тыс. га. В то же время площади граба и мягколиственных насаждений уменьшились на 15 тыс. га за счет более ценных насаждений. Из года в год росли затраты на мероприятия по развитию лесного хозяйства. Так, если затраты на лесохозяйственные мероприятия в 1965 г. составляли 1058,3 тыс. руб., то в 1969 г. — 2856 тыс. руб., то есть возросли почти в 3 раза. Расходы на лесокультурные работы за это время увеличились с 1,9 до 3,0 млн. руб.

Все эти данные свидетельствуют о систематическом возрастании интенсивности лесного хозяйства.

По всем трем многолесным областям Карпат за время работы лесокombинатов наблюдается также увеличение общих запасов древесины (54,7 млн. м<sup>3</sup>), в основном, за счет средневозрастных насаждений. Это указывает на положительную роль рубок ухода и санитарных, широко применяемых лесокombинатами и дающих ежегодно до 1,5 млн. м<sup>3</sup> ликвидной древесины, или около 30% общего объема лесозаготовок.

Положительная роль лесокombинатов выразилась также в развитии лесовозного транспорта. Длина лесовозных дорог в условиях Карпат увеличилась более чем в 1,5 раза. Однако общая протяженность дорог, приходящихся на каждые 100 га лесной площади, еще недостаточна и в будущем должна увеличиваться.

Общее сокращение объема заготовки леса, примерно с 7 млн. м<sup>3</sup> в 1960 г. до 4,2 млн. м<sup>3</sup> в 1969 г., и переход от сплошных к постепенным и выборочным рубкам главного пользования значительно ухудшили экономические показатели лесозаготовительного производства в лесокombинатах Карпат, что объясняется, по мнению авторов, малым средним объемом хлыста. Однако причина не только в этом. Ухудшение показателей произошло также вследствие увеличения трудозатрат на окучивание древесины и роста средних расстояний подвозки и вывозки древесины. Как видно из книги, по комбинату «Закарпатлес» лесозаготовительное производство до последних лет было убыточным.

Со стороны лесокombинатов предприняты меры по улучшению структуры основных производственных фондов в лесозаготовительном производстве и лучшему их использованию. Лесокombинаты перешли от вывозки леса по УЖД к вывозке автомобилями;

\* И. И. Грунянский, Ю. Ю. Тупыца. Экономика комплексных лесных предприятий. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1972.

значительно улучшена механизация спуска древесины с гор; нижние склады предприятий оснащены погрузочными кранами и автоматическими линиями для разгрузки, разделки и штабелевки древесины и т. д., вследствие чего значительно повысился удельный вес активной части основных фондов.

Переход от сплошных и сплошнолесосечных рубок к рубкам ухода и санитарным в условиях Карпат вызвал ухудшение сортиментной структуры древесины и снижение удельного веса пиловочника. Это существенно снизило показатель рентабельности производства, а также выпуск товарной продукции почти по всем лесокombинатам. В целях улучшения, этих показателей было усилено производство клееной фанеры, лущеного и строганого шпона, технологической щепы, древесностружечных плит и мебели. В результате объем товарной продукции по комплексным предприятиям Карпат в 1965—1970 гг. удалось поднять на 149,8%. Одновременно был значительно повышен полезный выход пиломатериалов (до 67,8%), в то время как на многих лучших зарубежных предприятиях этот показатель не превышал 57—65%.

В последние годы комплексные лесные предприятия Карпат стали выпускать больше древесностружечных плит, особенно Свалявский ЛК, который успешно освоил отечественное оборудование, модернизировал его и тем увеличил мощность цеха в 2 раза. Для изготовления ДСП Свалявский лесокombинат все шире применяет лесосечные отходы и маломерную древесину. Выход кондиционной стружки оказался несколько больше чем из отходов лесопиления, а физико-механические свойства плит, изготовленных с участием хвороста, несколько выше установленных ГОСТами.

В книге хорошо изложен раздел о побочном пользовании лесом, в частности: охотничье хозяйство, пчеловодство, сбор и переработка грибов, орехов, ягод, лекарственных элементов хозрасчета в лесохозяйственном производстве, а также о практическом использовании рекреационных свойств леса. Приходится сожалеть о том, что авторы совершенно ничего не сказали о форелеводстве, которое широко и на хорошем уровне организовано в ряде лесокombинатов Карпат (Буштынский, «Осмолада» и др.), ограничившись приведением одной лишь фотографии.

Авторы книги указывают, что «комплексные предприятия являются именно той организационной формой, при которой создаются благоприятные условия для внедрения элементов хозрасчета в лесохозяйственном производстве». К этому следует добавить (о чем говорят и авторы книги), что практика организации комплексных лесных предприятий опережает теорию и поэтому возникает ряд нерешенных задач, требующих внимания ученых и производственников. Сюда следует отнести вопросы, связанные с переводом предприятий на хозяйственный расчет, об оптимальных размерах комплексных предприятий, о совершенствовании управления предприятиями и др.

Книга «Экономика комплексных лесных предприятий» представляет несомненный интерес для читателя — специалистов лесного дела. Ее выпуск следует безусловно приветствовать.

Н. М. Белая, В. П. Чекин.

Львовский лесотехнический институт

УДК 634.0.237

## ЦЕННЫЙ ВКЛАД В ЛЕСНУЮ МЕЛИОРАЦИЮ\*

Согласно директивам XXIV съезда КПСС, в текущей пятилетке в сухой степи Сибири и Казахстана намечено посадить около 100 тыс. га защитных лесонасаждений различного служебного назначения. В связи с этим большой научно-производственный интерес представляет обобщение опыта лесомелиорации прошлых лет и разработка перспективных направлений в развитии степного лесоразведения. Поэтому нельзя не приветствовать выход в свет книги Л. А. Ламина. Региональная работа подобной полноты подготовлена впервые. Она отличается научной свежестью и системностью изложения.

Обобщив обширный литературный материал, автор предложил новую схему агролесомелиоративного районирования юга Сибири, выделив четыре зоны. За основу этой разработки взят метод наложения схем почвенного, агроклиматического, геоботанического и лесорастительного районирования. По результатам собственных обследований и публикаций Л. А. Ламин дал весьма полную сводку биолого-таксационных особенностей защитных лесонасаждений, их мелиоративно-защитной эффективности, исходя из главного служебно-целевого назначения. Получены основополагающие сведения о процессах естественного возобновления в лесных полосах и массивах. Оригинален раздел об отношениях древесно-кустарниковых пород между собой и с травянистой растительностью. Автор собрал малоизвестные факты об аллелопатическом воздействии

\* Л. А. Л а м и н. Защитное лесоразведение юга Западной Сибири. Под ред. проф. Г. В. Крылова, Новосибирск, 1973.

растений, о породах-ингибиторах и активаторах. Это позволяет более глубоко познать диалектический характер взаимоотношений между живыми компонентами насаждений, отыскать законы этих спонтанных явлений и научиться управлять ими в интересах человека. Отмечены, в частности, такие важные для производства факты: при реконструкции плотных лесополос мощность и жизненность сорных трав увеличивается, нарастание сухости экосреды ведет к обострению конкурентных отношений между компонентами защитных полос. Важен тезис о том, что эти отношения наиболее обостряются не в первые годы жизни насаждений, а несколько позже. Подчеркивая пластичность архитектоники корневых систем лесных пород в зависимости от физико-механических свойств почвогрунта, автор правильно указывает на важность этого явления для разработки ассортимента пород на различных почвенных фонах. Вскрытые закономерности взаимосвязей и взаимозависимостей в насаждениях позволяют подобрать оптимальные схемы смещения растений, что будет способствовать повышению производительности лесополос и их мелиоративного эффекта.

Автор приводит примеры удачного применения различных новых критериев для количественной оценки взаимоотношений пород, делает гравильный вывод о практической необходимости расшифровать механизм биохимического взаимовлияния компонентов лесонасаждений с помощью законов и методов физиологии, биохимии, математики, бионики. Рассматривая защитное лесоразведение как важнейшую форму мелиорации, автор на богатом фактическом материале показывает средообразующую роль систем лесных полос в сухой степи, их влияние на экологическую емкость межполосных пространств, интенсификацию сельскохозяйственного производства в целом, но особенно на повышение культуры земледелия.

Есть по книге одно важное, на наш взгляд, замечание. Увязывая полосное лесоразведение с научно-техническим прогрессом в агрономии, следовало бы показать роль и место зеленых заслонов полей в почвозащитной системе земледелия, указать на связь наиболее эффективных конструкций лесополос с агрофоном поля (плоскорезная или отвальная обработка почвы). Эти фоны много меняют в конструкции и размещении насаждений на местности. Различные способы обработки почвы предполагают дифференцированный подход к подбору агрономически эффективных конструкций лесополос. И такие данные в хозяйствах уже имеются (например, совхоз «Кулундинский» Алтайского края). Более того, возникает вопрос о необходимости дифференцированного применения земледельческих приемов в зонах межполосных клеток, в разной степени охваченных мелиоративно-защитным воздействием насаждений. Согласно нашим наблюдениям, на безотвальных фонах со средними и тяжелыми по механическому составу почвами лучшие результаты дают ажурно-продуваемые и продуваемые насаждения, а на отвальных обработках, независимо от механического состава почвы, и на плоскорезных с легкими почвами агрономически более эффективны лесополосы ажурной конструкции. В основе такого подхода лежит суммарный тормозной аэродинамический эффект системы лесополосы — агрофон.

В целом монография Л. А. Ламина, крупного знатока лесоразведения в Сибири, производит впечатление глубокого и весьма обширного исследования, с которым безусловно полезно познакомиться агрономам, лесомелиораторам, научным работникам, студентам агрономических специальностей вузов.

М. Е. Васильев,

Целиноградский сельскохозяйственный институт

УДК 634.0.232

## ДВА ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СБОРНИКА\*

В рецензируемых сборниках описаны два различных природно-хозяйственных района, далеких друг от друга географически.

В киевском сборнике опубликовано 49 сообщений о работах по проблеме «Повышение продуктивности лесов и эффективности защитного лесоразведения Украинской ССР». Весьма разнообразны помещенные тут материалы: историческая справка о лесовозобновлении и лесоразведении на Украине за годы Советской власти; вопросы лесной типологии; особенности лесов, сформировавшихся в результате массивного лесоразведения; охрана природы леса и мероприятия по повышению его продуктивности; соотношение между древостоем и плодородием почвы; использование минеральных удобрений; лесо-

\* 1) Лесовозобновление и защитное лесоразведение. Научные труды Украинской сельскохозяйственной академии, вып. 94, Киев, 1973, 145 стр. 2) Вопросы лесокультурного дела на Европейском Севере. Изд. Архангельского института леса и лесохимии, Архангельск, 1974, 140 стр.

охотничье хозяйство; технология лесокультурных работ; вопросы лесной таксации; защитные лесонасаждения и др.

Архангельский сборник вмещает 13 статей, в которых освещены вопросы лесной генетики, клонового семеноводства, выращивания сеянцев под пленкой, лесокультурной сценки болотно-подзолистых почв, норм высева семян сосны и ели, минеральных удобрений, уходов за лесными культурами и др.

Оба сборника представляют значительный интерес и могут быть использованы в научной, проектной и практической деятельности лесоводов. Не следует рассматривать каждый сборник только в узком региональном значении. Материалы, в них помещенные, могут быть творчески применены и в других районах. Именно поэтому хотелось бы видеть более солидные тиражи научной литературы. Малый тираж сборников (500 и 1000 экземпляров), несомненно, затрудняет обмен опытом научных учреждений и тормозит ход исследований и внедрения результатов в практику.

В сборниках имеются незначительные недостатки. Так, в очень интересной работе В. Я. Попова и В. М. Жарикова «Изменчивость потомства сосны обыкновенной по числу семян в разные репродуктивные годы», помещенной во втором сборнике, есть выводы, в том числе статистические, основанные на малом количестве наблюдений, что делает их сомнительными. Там же в полезной статье В. И. Кашина говорится о «семеноводстве» лиственницы на Севере в дореволюционный период, хотя в то время существовала только простая заготовка семян, а семеноводства вообще не было.

Ряд исследований не доведен до логического конца. Хотелось бы, например, видеть материалы о приживаемости и сохранности в посадках сеянцев, выращенных под полиэтиленовой пленкой.

В целом выпуск обоих сборников следует приветствовать и пожелать широким кругам лесоводов ознакомиться с ними.

**П. И. Войчалъ.**

Архангельский лесотехнический институт

**ЮБИЛЕЙ**  
**профессора**  
**ИВАНА ВАСИЛЬЕВИЧА ВОРОНИНА**

29 августа 1974 г. исполнилось 70 лет заслуженному лесоводу РСФСР, профессору Ивану Васильевичу Воронину.

Трудовая деятельность И. В. Воронина — выходца из рабочей семьи — началась в 1919 г. на эвакуационном пункте, затем на сукошвейной фабрике. В 1927 г. он окончил лесной факультет Воронежского сельскохозяйственного института и в течение 12 лет работал в лесном хозяйстве, последовательно занимая должности помощника лесничего, лесничего, таксатора, старшего специалиста лесхоза, начальника лесохозяйственного отдела и главного лесничего Воронежского областного управления.

Затем началась научно-педагогическая деятельность И. В. Воронина: он преподаватель Калининского лесного техникума, старший научный сотрудник Воронежской областной опытной станции, затем старший преподаватель кафедры экономики лесного хозяйства Воронежского лесотехнического института и с 1946 г. заведующий этой кафедрой. В 1945 г. он принят в члены КПСС.

Работая на производстве, Иван Васильевич в 1944 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук, а в 1947 г. был утверждён в учёном звании доцента.

И. В. Воронин принимал активное участие в разработке первых учебников по экономике и организации социалистического лесного хозяйства, сначала для лесных техникумов, а затем и для вузов. К 1961 г. им опубликованы 44 работы, в том числе 3 учебника и учебное пособие. В 1961 г. решением ВАКа он утверждён в учёном звании профессора, а в 1964 г. за заслуги в развитии лесного хозяйства ему присвоено почётное звание «Заслуженный лесовод РСФСР».

За время работы заведующим кафедрой И. В. Воронин подготовил 14 кандидатов и двух докторов наук. Всего им опубликовано 118 работ объёмом 165 печ. листов.

Научно-педагогическую работу И. В. Воронин успешно совмещает с общественной работой. Он член Гослескомитета Совета Министров СССР, член НТС Министерства высшего и среднего специального образования СССР и Министерства лесного хозяйства РСФСР, регионального совета ЦЧЭР и межвузовской экономической лаборатории, член редакционной коллегии «Лесного журнала».

За активную работу Иван Васильевич награждён орденом Трудового Красного Знамени и двумя медалями.

Многочисленные ученики и последователи И. В. Воронина, соратники по научной, педагогической и общественной работе, отмечая его славный юбилей, желают Ивану Васильевичу доброго здоровья, энергии, дальнейшей плодотворной деятельности.

Редакционная коллегия.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Р. В. Бобров.</i> Важные проблемы зеленых зон . . . . .	3
--	---

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Ф. П. Садовничий.</i> Строение молодняков сосны естественного происхождения . . . . .	7
<i>В. С. Поляков.</i> К характеристике лесов лиственницы сибирской Тувинской АССР (на примере Шагонарского лесхоза) . . . . .	11
<i>Е. И. Цурик.</i> Динамика товарности карпатских ельников, возрасты их спелостей и главных рубок . . . . .	13
<i>Л. Е. Астроногова.</i> Сезонная динамика фитомассы напочвенного покрова луговиковой вырубке . . . . .	18
<i>Я. В. Панков, Ф. Е. Иванов, П. Ф. Андриющенко.</i> Культуры тополя при рекультивации бросовых земель Курской магнитной аномалии . . . . .	21
<i>П. И. Войчалъ.</i> Общая математическая модель формы древесного ствола . . . . .	23
<i>Р. И. Дерюжкин, Л. В. Краснобаярова, В. Г. Латыша, Р. Д. Колесникова.</i> Связь показателей роста деревьев лиственницы сибирской с выходом и составом эфирного масла . . . . .	28
<i>В. П. Рябчук.</i> Влияние подсоски на микростроение древесины березы бородавчатой . . . . .	30
<i>Б. Е. Власов.</i> Расчет собственных частот колебаний стволов деревьев . . . . .	33

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>И. И. Леонович, П. А. Лыщик.</i> Повышение прочности дорожных одежд путем регулирования водно-теплового режима . . . . .	37
<i>Р. Л. Коровкин.</i> Учет явлений отрыва при расчете железобетонных плит колеиных покрытий автомобильных лесовозных дорог при динамическом нагружении . . . . .	41
<i>Н. Т. Зайцев.</i> Сравнительный анализ различных схем механизации работ на сплавных рейдах . . . . .	46
<i>Т. М. Шкиря.</i> Математическое описание модели гидравлического древокольного станка . . . . .	50
<i>И. И. Лышван, Н. П. Коваленко, Г. А. Евсеев, И. М. Боховкин.</i> Влияние органических примесей на процессы твердения цемента . . . . .	54
<i>Д. Д. Репринцев, Ю. И. Меремьянин.</i> Вероятностная оценка производственного травматизма в лесозаготовительных предприятиях . . . . .	59

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>В. Д. Парадеев, В. К. Лобастов.</i> Метрический синтез бипланетарных приводов рабочих органов деревообрабатывающих станков . . . . .	63
<i>Т. П. Стукова, Л. Г. Невзорова.</i> Исследование крутильных колебаний вала дисковой рубильной машины МРН-25 . . . . .	60
<i>В. П. Новосельцев, А. Ф. Селезнев.</i> Влияние изменения силы натяжения на динамическую устойчивость рамных и ленточных пил . . . . .	75
<i>А. С. Григорьев.</i> Описание криволинейных контуров мебельных деталей с помощью тригонометрических полиномов . . . . .	79
<i>Л. А. Бяльский.</i> Влияние прессования на внутреннее трение в древесине березы . . . . .	84
<i>З. И. Подойникова.</i> Равновесная влажность ЛУДГ при повышенных температурах . . . . .	88
<i>Е. М. Боровиков, Б. Ф. Орлов.</i> Термический способ подготовки круглых пил к работе . . . . .	90
<i>В. М. Семенова, А. А. Леонович.</i> К вопросу об огнезащите для клееных конструкций . . . . .	94

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>Э. И. Чупка, Л. В. Бронов, Э. С. Дамберг, В. А. Долматов, В. М. Никитин.</i> Изменения некоторых модельных соединений структурного звена лигнина при нагревании в щелочных средах . . . . .	100
--	-----

<i>В. Б. Некрасова, Э. И. Евстигнеев, А. Л. Агранат.</i> Выделение фитостерина из спирто-водных растворов омыленного пека кристаллизацией по методу ЛТА . . . . .	105
<i>Г. В. Топоркова, В. А. Калашев, И. С. Сорокин.</i> Мягкое окисление углеводно-лактонной части растворимой смолы термолиза древесины . . . . .	108
<i>В. Г. Латыш, Л. В. Красноболярова, Р. Д. Колесникова, Б. А. Захария, Б. Ф. Маликов.</i> К вопросу извлечения и ректификации эфирного масла ливиницы . . . . .	112
<i>Б. Д. Богомолов, Г. И. Попова, О. М. Соколов, Г. Г. Кочергина.</i> Об изменении молекулярного веса диоксанлигинина березы при щелочных варках . . . . .	115
<i>Е. А. Демченко.</i> Изучение липидов луба и корки коры осины . . . . .	118
<i>В. А. Волков, В. И. Юрьев.</i> Влияние гумусовых веществ на электрокинетические параметры бумажной массы . . . . .	122

### КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

<i>И. В. Турлай.</i> Анализ многофазовой системы лесозаготовительного предприятия . . . . .	126
<i>А. Ф. Николаев.</i> Методика расчета интервала выпуска продукции с учетом случайного числа случайных составляющих . . . . .	130
<i>М. С. Розенблит.</i> О расчете числа дублированных опытов при проведении многофакторных экспериментов в деревообработке . . . . .	133

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

<i>И. Е. Курис.</i> Некоторые вопросы технико-экономической оценки методов ремонта лесотранспортных машин . . . . .	137
<i>Л. Ч. Ильев.</i> Теоретические основы экономической оценки трансформируемых лесных угодий . . . . .	142
<i>В. В. Мальцева.</i> О методике калькулирования себестоимости продукции гидролизных заводов спирто-дрожжевого профиля . . . . .	146
<i>С. В. Починков.</i> Экономико-математическая модель комплексной оптимизации лесосеченого процесса, плотности и структуры дорожной сети в лесном массиве . . . . .	148

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

<i>В. В. Огиевский.</i> О методах учета и прогнозирования производительности дикорастущих ягодников по сопутствующим и косвенным показателям . . . . .	154
<i>И. Н. Патлай.</i> Рост сосны в географических культурах второго поколения в Троицкском лесхозаге Сумской области . . . . .	155
<i>Е. М. Безденежных, А. Д. Николайчук.</i> О сравнительном участии подроста пихты в возобновлении темнохвойных лесов . . . . .	160
<i>В. И. Кливер, Л. А. Шабалин, В. В. Зязин.</i> Исследование напряженного состояния коленчатого вала лесопильной рамы РД 75-6 . . . . .	162
<i>А. А. Настенко, В. С. Агеев.</i> Температурные зависимости модуля упругости и внутреннего трения стали ЭХФ . . . . .	165
<i>Г. Л. Дранишников, Г. Ф. Потуткин, Л. В. Ширяева.</i> О составе пыли от шлифования древесностружечных плит . . . . .	168

### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

<i>Н. М. Белая, В. П. Чекин.</i> Организация комплексных лесных предприятий — одно из важных средств повышения эффективности лесохозяйственного производства . . . . .	170
<i>М. Е. Васильев.</i> Ценный вклад в лесную мелниорацию . . . . .	171
<i>П. И. Войчалъ.</i> Два лесохозяйственных сборника . . . . .	173

### ЮБИЛЕИ

<i>Редакционная коллегия.</i> Юбилей профессора И. В. Воронина . . . . .	174
--	-----

## ПОРЯДОК ДЕПОНИРОВАНИЯ СТАТЕЙ

Депоирование статей осуществляется по решению редакционной коллегии журнала. Статья направляется на депоирование с согласия ее автора.

Депоированные статьи являются научными публикациями и учитываются при защите диссертаций в полном объеме.

Для депоирования статьи в редакцию должны быть представлены следующие материалы:

- а) рукопись статьи (3 экз.);
- б) краткий реферат, подписанный автором (2 экз.);
- в) аннотация, подписанная автором (2 экз.).

При оформлении статьи следует соблюдать следующие правила.

Статья представляется в редакцию журнала в мягкой папке, окончательно отработанная автором и готовая для немедленного размножения способами беззаборной печати.

Текст рукописи печатается на машинке (не портативной) с яркой черной лентой через полтора или два интервала на одной стороне стандартного листа бумаги формата 21×30 см односортной писчей.

Рукопись должна включать:

- а) титульный лист (4 первых экземпляра, один из них должен быть подписан автором);
- б) основной текст;
- в) иллюстрации; г) приложения; д) библиографию.

В рукописи все страницы (включая приложения) должны быть пронумерованы (первой страницей считается титульный лист, на ней цифра «1» не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.). Порядковый номер печатается на машинке в середине верхнего поля страницы.

Страницы рукописи должны иметь четыре поля: верхнее и оба боковых по 25 мм, нижнее — 30 мм.

Рисунки (чертежи, схемы, графики) должны быть включены в текст; если это нежелательно, их следует наклеивать (можно по 2—3 рисунка) на отдельные листы бумаги и давать приложением. Надписи следует делать на лицевой стороне.

Текст и другие элементы рукописи, отпечатанные и написанные, должны быть черными по насыщенности, контуры букв и знаков — четкими, без ореола и расплывающейся краски.

Насыщенность букв и знаков должна быть ровной в пределах строки, строки и всей рукописи. Штриховые рисунки должны быть выполнены черной тушью на белой бумаге или на кальке с голубым оттенком.

Тоновые фотографии следует выполнять на глянцевои фотобумаге, сдавать в отретушированном виде и только приложением.

Формулы должны быть вписаны в текст тщательно и разборчиво, обязательно черными чернилами или тушью (не шариковой ручкой). Особенно четко в формулах должны быть обозначены прописные и строчные буквы, а также индексы. Размеры знаков для формул рекомендуются следующие: прописные буквы и цифры 7—8 мм, строчные — 4 мм, показатели степени, индексы — не менее 2 мм.

Текст на иностранных языках может быть или напечатан, или целиком написан от руки (примесь частично напечатанных на пишущей машинке отдельных букв или цифр не допускается).

Экземпляры рукописи, рисунки, фотографии должны быть без пометок, карандашных и чернильных исправлений, пятен, трещин, загибов. Навивки букв на букву, дорисовка букв чернилами не разрешаются. Если допущена ошибка, слово должно быть перепечатано и вклеено.

При оформлении реферата следует руководствоваться правилами, принятыми для подготовки рукописей, издаваемых наборной печатью. Объем не должен превышать 2 страниц машинописного текста, в отдельных случаях можно включать рисунок, таблицу, основные формулы. Объем аннотации — не более одной страницы, напечатанной через два интервала. Аннотации должно предшествовать библиографическое описание материала статьи по следующему образцу.

УДК (указать).

Некоторые вопросы развития тепловых электрических станций. Иванов И. И. «Изв. вузов — Энергетика» 1972, № .

В целях информации научных учреждений и отдельных лиц о поступивших на депоирование и размножение рукописях по точным, естественным и техническим наукам ВИНТИ выпускает аннотированный каталог, в котором сообщается номер, под которым хранится рукопись в ВИНТИ, фамилия автора, название труда, наименование учреждения, представившего труд, объем и другие библиографические данные.

Заказы на изготовление копий с депоированных рукописей по точным, естественным и техническим наукам направляются в Отдел справочной информации ВИНТИ, Москва, А-219, Балтийская ул., 14.

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Рукописи статей принимаются редакцией по рекомендации соответствующих кафедр высших учебных заведений.

Статьи, представляемые в журнал, не должны превышать 6—7 страниц машинописного текста. Статьи, превышающие указанный объем, к рассмотрению не принимаются. Статьи библиографического характера должны быть не более 3 страниц. В заглавии статьи указываются ее название, инициалы и фамилия автора (или авторов) и полное наименование того учреждения, в котором проделана описываемая в статье работа. Рукописи направляются в редакцию в двух отчетливо оформленных экземплярах на хорошей бумаге, перепечатанные на машинке через два интервала на одной стороне листа. На листе должно быть не более 30 строк, а в строке не более 60 знаков. С левой стороны листа оставляется чистое поле шириной в 30 мм. Все страницы рукописи должны быть пронумерованы. На полях рукописи необходимо карандашом указать места рисунков и цифровых таблиц, если последние прилагаются к статье на отдельных листах. Иностранные слова должны быть вписаны на машинке или разборчиво чернилами от руки.

Особое внимание должно быть обращено на аккуратное написание индексов и показателей степени. Следует делать ясное различие между заглавными и строчными буквами. Во избежание недоразумения заглавные буквы следует подчеркивать двумя черточками снизу, а строчные — двумя черточками сверху. Особенно это касается таких букв, как *V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k*, *U* и *u*, *C* и *c*. Необходимо самое серьезное внимание обращать на аккуратное вписывание схожих по начертанию букв: *h* и *n*, *g* и *g*, *l* и *e*, *v* и *u*, *i* и *a*, *o* и *a*, *l* и *J*,  $\zeta$  и  $\xi$ .

Все физические величины должны быть приведены в системе СИ.

Для отличия от буквы *O* ноль (0) оставлять без подчеркивания. Греческие буквы должны быть обведены красным карандашом, латинские — синим.

Приводимый в статье графический ма-

нужно писать полностью (указав в скобках сокращенное название); в дальнейшем это наименование можно давать только сокращенно.

При ссылке в тексте статьи на работы других авторов следует в скобках указывать фамилию автора и год издания его работы. Упоминания имен иностранных авторов даются в русской транскрипции, ссылки на иностранные работы — на том языке, на котором они опубликованы. В случае приведения цитаты необходимо указать, откуда она взята (автор, название работы или номер тома, год издания, страницы).

Список литературы должен содержать лишь цитируемые в тексте статьи работы и, наоборот, все упоминаемые в тексте работы должны быть помещены в списке литературы. В списке указываются фамилия и инициалы автора, название работы, журнал, в котором она опубликована (для книг — место издания и издательство), год издания, № журнала. Название журнала, в котором опубликована упоминаемая в списке литературы работа, дается полностью. Ссылка на неопубликованные работы не допускается.

Рукопись должна быть тщательно выверена, подписана автором и иметь визу руководителя кафедры; должны быть написаны дата отправки рукописи, полное имя и отчество автора, его ученое звание и степень, а также служебный и домашний почтовые адреса и номера телефонов.

Иллюстрации представляются в двух экземплярах. Они должны быть пригодны для цинкографического воспроизведения (фотографии должны быть четкими, чертежи необходимо делать черной тушью пером на ватмане, тени на рисунках — при помощи точек или штрихов). На обратной стороне рисунка должны быть указаны его порядковый номер, соответствующий номеру в списке, и фамилия автора. Подписи к рисункам должны быть приложены на отдельном листе, перепечатанными на машинке.

я может возвращать авторам не-  
аписанные статьи с требованием  
шем изложении и более аккурат-  
лнении.

я имеет право производить со-  
и редакционные изменения руко-  
орректур статей авторам, как  
не предоставляется.

**ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ  
обозначенного здесь срока**


Таблица 1

Возраст, лет	Средние		Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Количество стволов на 1 га, шт.	Видовое число, 0,001	Общий запас, м <sup>3</sup>	Изменение запаса, м <sup>3</sup>		Запас деловой древесины по группам толщины, м <sup>3</sup>			Итого деловой	Дрова	Итого ликвидной древесины	Отходы
	высота, м	диаметр, см					среднее	текущее	крупная (25 см и более)	средняя (14—24 см)	мелкая (6—13 см)				
Лиственничник долинный разнотравно-злаковый, II класс бонитета															
30	11,6	12,8	22,1	1715	596	153	5,1	—	—	6,0	96,5	102,5	15,3	117,8	35,2
50	16,8	19,6	26,3	870	444	195	4,0	2,1	1,5	37,5	93,7	132,7	21,4	154,1	40,9
70	20,7	25,6	29,4	570	374	228	3,3	1,6	12,6	77,0	67,7	157,3	25,1	182,4	45,6
90	23,4	30,3	31,0	430	344	252	2,8	1,2	53,1	108,0	15,2	176,3	27,7	204,0	48,0
110	25,6	34,0	32,2	355	328	272	2,5	1,0	84,7	94,6	8,4	187,7	32,6	220,3	51,7
130	27,0	37,2	32,6	400	327	288	2,2	0,8	106,6	85,8	6,4	198,8	34,6	233,4	54,6
150	28,0	40,0	32,8	260	326	300	2,0	0,6	126,0	75,0	3,0	204,0	42,0	246,0	54,0
170	28,8	42,2	33,0	235	326	310	1,8	0,5	142,8	64,6	3,4	210,8	43,4	254,2	55,8
190	29,5	44,2	32,9	215	325	316	1,6	0,3	150,1	58,9	5,9	214,9	44,2	259,1	56,9
210	30,0	45,8	32,7	195	324	318	1,5	0,1	159,6	52,5	8,7	220,8	47,2	268,0	50,0
Лиственничник долинный разнотравно-злаковый, III класс бонитета															
30	10,0	10,2	19,5	2380	600	117	4,0	—	—	2,7	75,6	78,3	11,7	90,0	27,0
50	14,3	15,8	23,0	1175	468	154	3,1	1,8	—	35,5	68,2	103,7	16,9	120,6	33,4
70	17,8	20,6	25,5	770	410	179	2,5	1,2	4,2	59,5	58,7	122,4	19,2	142,1	36,9
90	20,3	25,0	27,1	560	361	199	2,2	1,0	25,2	90,9	21,2	172,2	21,9	159,1	29,8
110	22,2	28,4	28,2	445	348	218	2,0	0,9	44,0	99,0	5,2	148,2	28,0	176,2	41,8
130	23,6	31,3	28,7	375	342	232	1,8	0,7	65,0	92,3	5,1	162,4	25,5	187,9	44,1
150	24,6	33,6	28,9	325	341	244	1,6	0,6	75,0	91,5	4,4	170,9	26,8	197,7	46,3
170	25,4	35,6	29,2	295	338	252	1,5	0,4	79,9	81,5	12,4	173,9	30,2	204,1	47,9
190	26,0	37,2	29,2	270	337	256	1,3	0,2	83,6	76,0	19,6	179,2	30,7	209,9	46,1
210	26,5	38,7	28,9	250	334	259	1,2	0,1	94,5	69,3	17,5	181,3	31,1	212,4	46,6
Лиственничник горный брусничный, IV класс бонитета															
30	8,0	9,1	17,0	2615	646	88	2,9	—	—	—	—	—	—	—	—
50	11,8	13,6	20,1	1385	531	126	2,5	1,9	—	14,0	70,5	84,5	12,6	97,1	28,9
70	14,7	17,8	22,3	895	457	150	2,1	1,2	1,4	46,2	52,9	100,5	18,0	118,5	31,5
90	17,1	21,6	23,8	650	415	169	1,9	0,9	9,9	69,3	34,6	113,8	20,3	134,1	34,9
110	18,8	24,8	24,9	515	395	185	1,7	0,8	19,8	91,3	16,6	129,1	20,3	149,4	35,6
130	20,1	27,7	25,4	420	389	199	1,5	0,7	33,8	98,8	4,7	137,3	21,9	159,2	39,8
150	21,0	30,4	25,6	350	387	209	1,3	0,5	43,5	96,0	4,7	144,2	23,0	167,2	41,8
170	21,6	32,6	25,8	310	381	216	1,2	0,3	56,1	81,6	11,4	149,1	25,9	175,0	41,0
190	22,0	34,3	25,6	280	380	214	1,1	0,1	64,6	72,2	10,8	147,6	25,7	173,3	40,7
210	22,2	35,6	25,4	255	379	214	1,0	0,0	68,7	68,1	8,8	145,5	27,8	173,3	40,7
Лиственничник горный багульниковый, V класс бонитета															
30	5,8	6,0	13,9	4965	744	60	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—
50	8,6	9,8	16,3	2175	627	88	1,8	1,4	—	—	—	—	—	—	—
70	11,1	13,4	18,2	1290	544	110	1,6	1,1	—	20,3	53,4	73,7	11,0	84,7	25,3
90	13,3	16,8	19,9	900	476	128	1,4	0,9	0,9	43,2	41,7	85,8	15,4	101,2	26,8
110	15,5	20,0	21,3	680	439	145	1,3	0,8	7,7	61,6	29,3	98,4	15,9	114,3	30,5
130	16,5	23,0	21,8	525	436	157	1,2	0,6	13,0	74,1	19,7	106,8	18,8	125,6	31,4
150	17,3	25,3	22,2	440	434	167	1,1	0,5	22,5	81,0	11,0	114,5	20,0	134,5	32,5
170	17,9	26,9	22,3	390	430	171	1,0	0,2	34,0	76,5	5,8	116,3	20,5	136,8	34,2
190	18,3	28,1	22,5	360	425	175	0,9	0,2	49,4	66,5	3,1	119,0	21,0	140,0	35,0
210	18,5	29,2	22,3	335	424	175	0,8	0,0	46,2	63,0	9,8	119,0	21,0	140,0	35,0
Лиственничник предгорный ерниковый, Va класс бонитета															
30	4,0	5,0	11,8	5900	932	45	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—
50	6,7	8,4	14,1	2565	709	67	1,3	1,1	—	—	—	—	—	—	—
70	8,5	11,4	15,5	1520	653	85	1,2	0,9	—	—	—	—	—	—	—
90	10,0	13,7	16,5	1120	618	102	1,1	0,8	—	4,5	63,9	68,4	10,2	78,6	23,4
110	11,2	15,7	17,4	900	584	114	1,0	0,6	1,1	33,0	42,3	76,4	12,5	88,9	25,1
130	12,2	17,3	17,9	765	549	120	0,9	0,3	2,6	42,9	36,1	81,6	13,2	94,8	25,2
150	12,6	18,6	18,2	670	540	124	0,8	0,2	6,0	51,0	32,1	83,1	14,9	98,0	26,0
170	13,0	19,8	18,2	590	532	126	0,7	0,1	10,2	49,3	24,9	84,4	15,1	99,5	26,5
190	13,4	20,8	18,5	545	516	128	0,6	0,1	19,0	47,5	20,5	87,0	14,1	101,1	26,9
210	13,8	21,8	18,4	495	512	130	0,6	0,1	25,0	45,0	18,7	88,7	14,3	103,0	27,0

Цена 1 руб.

**Подписывайтесь  
на журнал на 1975 г.**

**«ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ»  
МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР**

Раздел

**„ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ“**

Индекс 70368

«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 высылаются наложенным платежом.

Адрес редакции: 163007, Архангельск, 7, Набережная  
В. И. Ленина, 17, АЛТИ, «Лесной журнал».

05  
И332

# ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ

6

---

1974