

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

ГОД ИЗДАНИЯ СЕМНАДЦАТЫИ

1

1974

БИБЛИОТЕКА
Архангельского
Свердловского
ИНСТИТУТА
лес. В. В. Кудряшова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Проф. **И. М. Боховкин** (отв. редактор), доц. **Е. С. Романов** (зам. отв. редактора), доц. **С. И. Морозов** (зам. отв. редактора), проф. **Н. М. Беляя**, доц. **П. И. Войчаль**, проф. **И. В. Воронин**, проф. **А. Э. Грубе**, 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» № 1

(Год издания семнадцатый)

Сдан в набор 12/XII 1973 г. Подписан к печати 25/III 1974 г. Форм. бум. 70X1081/16.
Печ. л. 15,4 + 2 вкл. Физ. печ. л. 11. Уч.-изд. л. 15,88. Тираж 2350.
Сл 00021. Заказ 9402. Цена 1 руб.

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

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 634.0.18.1.2:634.0.17

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ
СЕЯНЦАМИ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ
И ПУЗЫРЕПЛОДНИКА КАЛИНОЛИСТНОГО

В. П. ДАДЫКИН, Н. В. КОНОНЕНКО

Московский лесотехнический институт

Изложены результаты определения коэффициента использования лучистой энергии 1-, 2-, и 3-летними сеянцами ели обыкновенной и пузыреплодника калинолистного.

Идеи биогеоценологии получают все более широкое распространение и признание. По В. Н. Сукачеву [20, стр. 48], конечная задача биогеоценологии — «вскрытие всех закономерностей, управляющих процессами превращения вещества и энергии». Наиболее важной созидательной частью биогеоценоза является фитоценоз, так как только фотоавтотрофным организмам свойственно аккумулировать солнечную энергию химических связей.

Е. М. Лавренко и Н. В. Дылис [11], развивая и продолжая идеи В. Н. Сукачева, определили биогеоценоз как биокосную систему, «осуществляющую с помощью своих живых компонентов запасание и трансформацию энергии и биологический круговорот веществ». По-видимому, эта формулировка точнее выражает сущность энергетических процессов, происходящих в биогеоценозе. В. Н. Сукачев же говорил об определенном типе «обмена веществом и энергией» [20, стр. 23]. Как справедливо отмечает Г. Г. Винберг [2], [3], энергия (в отличие от вещества) может быть использована в процессе обмена живых существ только один раз. Поэтому наиболее надежным мерилем активности каждого биогеоценоза может служить общий поток энергии, который проходит через систему, а продуктивность системы можно оценить по суммарной аккумулированной энергии.

Исследования, выполненные в соответствии с Международной биологической программой, позволили накопить огромное количество материалов по продуктивности органического вещества различными биогеоценозами ([17], [15], [12], [13], [19] и др.). Все эти работы вносят большой вклад в оценку ресурсов биосферы, так как позволяют определить запасы органической массы в различных географических зонах планеты и, в частности, в различных лесорастительных районах.

Однако Международная биологическая программа предусматривала изучение не только количества продуцируемой фитоценозами биомассы, но одновременно ставила задачу учитывать количество энергии, аккумулированной наземными сообществами. К сожалению, энергетических оценок накопленной фитоценозами биомассы до сих пор имеется немного ([8], [5], [13], [9], [25] и др.). Несколько полнее изучена первичная продуктивность водных ценозов [4].

Отдельные характеристики теплотворной способности растительного материала имеются в публикациях разных авторов ([10], [6], [7], [11], [23], [22], [24] и др.).

Нами предпринята попытка определить аккумуляцию солнечной энергии сеянцами ели обыкновенной (*Picea excelsa* Link.) и пузыре-

плодника калинолистного (*Physocarpus opulifolia* Maxim.) в первые годы жизни и рассчитать изменения коэффициента использования солнечной энергии этими видами по годам.

Растительный разновозрастный материал взят из Гребневского питомника Щелковского учебно-опытного лесхоза Московской области в середине июля 1972 г. В посевном отделе питомника было заложено по десять пробных площадок размером $0,8 \text{ м}^2$ каждая, с елью и пузыреплодником 1-, 2- и 3-летнего возраста. На всех пробных площадках подсчитано число растений и одновременно измерены проекции их крон. Затем все растения со всех пробных площадок были собраны, немедленно обработаны на паровой бане и доведены до абс. сухого веса. Это позволило определить запас органического вещества на площади.

Для сравнимости биомассы на всех делянках брали одинаковое количество растений. Затем анализировали теплотворную способность биомассы в калориметрической установке В-06 по общепринятой методике [16]. Образцы для сжигания готовили как средние пробы из всего имеющегося материала (в воздушно сухом состоянии), вес пробы — до 1 г. Калорийность растительной массы определяли в трехкратной повторности.

Количество тепла, выделяемого в результате сжигания навески исследуемых растений, вычисляли по формуле [16], [18]

$$Q = \frac{W(\Delta t + \delta)}{P},$$

где W — величина теплового значения калориметра;
 $\Delta t + \delta$ — подъем температуры в опыте с поправкой на теплообмен;
 P — вес навески в вакууме.

Теплоемкость калориметрической системы W определяли по бензойной кислоте. Использовали медицинский кислород, сжигание вели при давлении 30 атм. Поправку δ на теплообмен калориметра с окружающей средой вычисляли по формуле Ренью — Пфаундлера — Усова.

Актинометрические данные взяты по декадам за вегетационные периоды по показаниям актинометра Янишевского на метеостанции МГУ. Приход суммарной радиации рассчитывали на покрытую растением площадь. По полученным данным определяли коэффициент использования солнечной энергии сеянцами ели и пузыреплодника. Количество фотосинтетически активной радиации (ФАР) принимали равным 50% от интегральной, а поглощение ее растениями — 80% от ФАР [14], [21].

Основные результаты наших исследований даны в табл. 1.

Теплотворная способность (калорическое значение) сеянцев ели несколько выше, чем пузыреплодника. С возрастом она несколько повышается. У ели калорическое значение биомассы второго года возросло на 0,3% по сравнению с первым годом, третьего года — на 2,3%. У пузыреплодника теплотворная способность биомассы второго года значительно возросла по сравнению с первым годом. На третий год она существенно снизилась, что несомненно связано с большой густотой стояния растений. На третий год растения пузыреплодника перекрывали друг друга почти на четверть, что и сказалось на аккумуляции энергии в биомассе. Падение калорического значения у сеянцев в первые годы жизни, очевидно, является одним из признаков загущения посевов. Это может свидетельствовать о запаздывании с пересадкой сеянцев из посевного отделения в школу.

Сеянцы отличаются быстрым ростом. Отношение прироста ели за второй и третий вегетационные периоды к массе первого и второго

Таблица 1

Показатели	Значения показателей					
	для ели обыкновенной в возрасте, лет			для пузыреплодника калинолистного в возрасте, лет		
	1	2	3	1	2	3
Запас органической массы, $кг/м^2$	$0,014 \pm 0,002$	$0,151 \pm 0,013$	$0,971 \pm 0,062$	$0,0202 \pm 0,002$	$0,778 \pm 0,054$	$1,252 \pm 0,047$
Прирост, $кг/м^2$	0,014	0,137	0,820	0,0202	0,758	0,474
Калорическое значение биомассы, $ккал/кг$	4569 ± 6	4753 ± 6	4770 ± 8	4064 ± 9	4505 ± 10	4330 ± 8
Аккумуляция солнечной энергии, $ккал/м^2$:						
	биомасса	63,97	717,70	4631,67	82,09	3504,89
прирост	63,97	651,16	3911,40	82,09	3414,79	2052,42
Приход суммарной солнечной радиации за вегетационный период, $ккал/м^2$	209590	744800	1289910	209590	744800	1289910
Покрывание площади растениями, %	6,4	20,5	52,4	23,0	90,0	122,2
Количество солнечной энергии, поглощенной растениями, $ккал/м^2$	5365,52	38729,05	127349,34	19282,28	161951,76	380083,88
Коэффициент использования солнечной энергии биомассой прироста, %	1,2	1,7	3,0	0,42	2,1	0,54

годов составило соответственно 10,8 и 6,4. У пузыреплодника во втором вегетационном периоде прирост увеличился в 38 раз. Однако на третий год вследствие угнетения растений прирост снизился почти вдвое.

Коэффициент использования лучистой энергии елью значительно выше, чем у пузыреплодника. Это может быть объяснено различием в биохимическом составе биомассы этих видов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. К. А. Асроров. Коэффициент использования света. Сб. «Фотосинтез и использование солнечной энергии», изд-во «Наука», Л., 1971. [2]. Г. Г. Винберг. Первичная продукция водоемов. Изд. АН БССР, 1960. [3]. Г. Г. Винберг. Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Изд-во «Наука», М., 1967. [4]. Г. Г. Винберг. Исследование биологического баланса энергии и биологической продуктивности озер в Советском Союзе. Журн. «Экология» № 4, 1972. [5]. В. Н. Голубев, Л. В. Махаева, С. К. Кожевникова. Опыт калориметрического изучения динамики продуктивности надземной части растительности крымской яйлы. «Ботанический журнал», 52, 9, 1967. [6]. В. П. Дадькин, В. П. Беденко, Т. А. Алексеева. К вопросу об энергетике растений, произрастающих на холодных почвах. Сб. «Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры», 5, изд. АН СССР, М., 1960. [7]. В. П. Дадькин, Б. Н. Грушевский, Р. И. Иванова, Е. Б. Потаевич. Внешние условия и энергетика растений. Труды Карельского филиала АН СССР «Вопросы физиологии и экологии растений в условиях Севера», 1964. [8]. А. Г. Дзяренко. Использование солнечной энергии полевыми культурами. «Научно-агрономический журнал» № 1, 1924. [9]. А. П. Коваленко, В. Г. Колищук. Итоги работы высокогорного стационара в Карпатах. Сб. «Очередные задачи биогеоценологии и итоги работ биогеоценологических стационаров», Л., 1971. [10]. Ф. Н. Крашенинников. Накопление солнечной энергии в растении. Изд. А. А. Лавенсона, М., 1901. [11]. Е. М. Лавренко, Н. В. Дылис. Успехи и очередные задачи в изучении биогеоценозов суши в СССР. «Ботанический журнал», 53, 2, 1968. [12]. К. Н. Мананов. Элементы биологического круговорота на Полярном Севере. Изд-во «Наука», Л., 1970. [13]. А. А. Молчанов. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. Изд-во «Наука», М., 1971. [14]. А. А. Ничипорович. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. Изд. АН СССР, М., 1956. [15]. Л. К. Поздняков, В. В. Протопопов, В. М. Горбатенко. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярское книжное изд-во, Красноярск, 1969. [16]. М. М. Попов. Термометрия и калориметрия. Изд. МГУ, 1954. [17]. Л. Е. Родин, Н. И. Базилевич. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. Изд-во «Наука», М.-Л., 1965. [18]. С. М. Скуратов, В. П. Колесов, А. Ф. Воробьев. Термохимия. Изд. МГУ, 1964. [19]. В. В. Смирнов. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР. Изд-во «Наука», М., 1971. [20]. В. Н. Сукачев, Н. В. Дылис. Основы лесной биогеоценологии. Изд-во «Наука», М., 1964. [21]. Ю. Л. Целникер. Радиационный режим под пологом леса. Изд-во «Наука», 1969. [22]. J. Sagar. A world pattern in plant energetics. «American scientist», 59, 4, 1971, 425—433. [23]. E. Gorham, J. Sanger. Calorific values of organic matter in woodland, swamp and lake soils. «Ecology», 48, 3, 1967, 492—494. [24]. H. Malcolm. Seasonal calorific values from a deciduous woodland in England. «Ecology», 52, 6, 1971. [25]. J. Ovington, D. Heitkamp. The accumulation of energy in forest plantation in Britain. «Ecology», 48, 3, 1961.

Поступила 2 октября 1973 г.

УДК 576.341

ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ 2, 4, 5-Т НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ПАРЕНХИМНЫХ КЛЕТОК ДРЕВЕСИНЫ

О. И. ПОЛУБОЯРИНОВ, Г. Н. НЕКРАСОВА

Ленинградская лесотехническая академия

С помощью цитологических показателей исследована динамика отмирания parenхимных клеток древесины березы и осины в деревьях, подвергшихся арборицидной обработке. Показано, что в отмирающих клетках сохраняется довольно высокое осмотическое давление, способствующее, по всей вероятности, поддержанию в древесине высокой влажности.

Базальная обработка насаждений бутиловыми эфирами 2, 4-Д и 2, 4, 5-Т, как один из методов ухода за лесом, довольно широко применяется в лесном хозяйстве. Обоснована возможность использования данных арборицидов для химической окорки деревьев. Изменения в формирующихся оболочках клеток древесины и коры, происходящие в результате обработки деревьев, проанализированы американскими авторами [12].

В наших прежних исследованиях [4], [5] было установлено, что под влиянием слабых доз бутилового эфира 2, 4, 5-Т заболонная древесина осины по строению и свойствам приближается к ядровой. Такие изменения мы оцениваем как положительные, так как снижается неоднородность древесного сырья на корню.

Поскольку и при регулируемом ядрообразовании основой процесса являются прежде всего изменения в parenхимных клетках древесины, настоящее исследование было предпринято с целью более детального анализа поведения живых элементов древесины в деревьях, подвергшихся базальной обработке.

Материал и методы исследования

Исследовали древесину деревьев березы и осины 35—40-летнего возраста, обработанных базальным методом 5%-ным раствором бутилового эфира 2, 4, 5-Т. Проанализировано по четыре дерева каждой породы. Одни и те же деревья были исследованы через один (в июле), четыре (в октябре) и двадцать четыре месяца после обработки их арборицидом.

Образцы древесины в виде цилиндров брали из стволов возрастным буравом, помещали в пробирки с дистиллированной водой и в тот же день анализировали. Ранее было установлено, что наиболее заметно жизнеспособность лучевых клеток изменяется в наружных, молодых слоях заболони. Поэтому в настоящем исследовании мы ограничились 5—10 наружными годичными слоями. Исследования проводили с помощью микроскопа МБИ-3 на радиальных срезах. Для каждого определения готовили 16—20 срезов.

Жизнеспособность устанавливали по ряду цитологических показателей, из которых основным являлся плазмолитический. При этом определяли осмотическое давление клеточного сока по Штруггеру [9] при помощи пограничного плазмолиза. В качестве плазмолитика использовали растворы сахарозы с концентрацией 0,1—1,0 М и разницей между соседними концентрациями 0,1 М. Дополнительно определяли способность к прижизненному окрашиванию, вакуолизацию цитоплазмы, количество живых клеток, форму и время плазмолиза.

В сомнительных случаях для контроля пользовались методом деплазмолиза. Связь этих показателей с жизнеспособностью клеток приведена в соответствующей литературе [1]—[3], [6], [8]—[10].

Для прижизненного окрашивания использовали растворы нейтрального красного с $\text{pH} = 6,2 \div 6,8$. Вакуолизацию клеток отмечали до проведения плазмолитической реакции. Количество живых клеток подсчитывали после окраски срезов нейтральным красным и плазмолиза 1 М раствором сахарозы. При подсчете не принимали во внимание поврежденные клетки и расположенные у края среза. На тех же срезах отмечали время и форму плазмолиза.

Результаты исследования

Контрольные деревья. У осины и березы в клетках сердцевинных лучей имеется масса мелких, рассеянных в цитоплазме вакуолей. Осенью не было установлено заметного изменения их размеров или количества по сравнению с летним сезоном. Клеточный сок окрашивается нейтральным красным в интенсивный розовый цвет. Плазмолиз 1 М сахарозой происходит мгновенно, и клетки принимают выпуклую форму летом и вогнутую — осенью. Данные о количестве живых клеток и осмотическом давлении клеточного сока представлены в табл. 1.

Таблица 1

№ дерева	Порода	Время анализа, соответствующее давности обработки арборицидом, месяцы	Количество живых клеток, %			Осмотическое давление, моли раствора сахарозы		
			в полосе нанесения арборицида	в 15 см выше полосы	в 15 см ниже полосы	в полосе нанесения арборицида	в 15 см выше полосы	в 15 см ниже полосы
198	Береза	1	94	90	91	0,31	0,32	0,31
		4	91	88	—	0,45	0,43	0,43
		24	92	91	90	0,27	0,26	0,26
199	Береза	1	90	91	86	0,34	0,34	0,32
		4	91	90	90	0,42	0,43	0,42
87	Осина	1	98	98	97	0,34	0,34	0,32
		4	97	98	98	0,45	0,43	0,46
		24	92	93	93	0,29	0,28	0,30
45	Осина	1	96	97	97	0,28	0,28	0,29
		4	97	97	98	0,41	0,41	0,40

Примечание. В таблицах прочерки означают, что определение не производилось.

Количество живых клеток не является абсолютным, так как в какой-то степени зависит от техники приготовления и обработки препаратов. Однако этот показатель с успехом может быть использован для сравнения. Существенных колебаний по высоте взятия образцов ни в количестве живых клеток, ни в величине осмотического давления не выявлено. Осмотическое давление осенью заметно выше, чем летом.

Опытные деревья. Через месяц после обработки арборицидом по исследованным цитологическим показателям у березы не было выявлено заметных изменений в жизнеспособности паренхимных клеток; лишь у одного дерева несколько снизилось количество живых клеток (табл. 2).

Осина оказалась менее устойчивой к базальной обработке арборицидом. Вакуоли укрупненные, малоподвижные, местами деформированные, характерные для более старых клеток [1], [8], [10]. Количество их по сравнению с контролем меньше. Клеточный сок сохраняет способность к окрашиванию нейтральным красным. Плазмолиз в большинстве случаев имеет выпуклую, но нечетко выраженную форму. Время его увеличено до 15—18 мин. Количество живых клеток заметно ниже за

Таблица 2

№ дерева	Порода	Давность обработки арборицидом, месяцы	Состояние кроны	Количество живых клеток, %			Осмотическое давление, моли раствора сахарозы		
				в полосе нанесения арборицида	в 15 см выше полосы	в 15 см ниже полосы	в полосе нанесения арборицида	в 15 см выше полосы	в 15 см ниже полосы
202	Береза	1	На вершине листья покраснели	92	95	92	0,25	0,21	0,24
		4	Вершина сухая	88	92	86	0,36	0,36	—
		24	Вершина сухая, на боковых ветках редкие листья	80	85	80	0,28	0,31	0,30
204	"	1	На вершине листья покраснели	81	90	54	0,29	0,24	0,26
		4	Вершина сухая	72	86	0	0,46	0,44	0
		24	Вся сухая	0	13	0	0	—	0
89	Осина	1	Вершина сухая, на боковых ветках редкие листья	24	90	7	0,32	0,30	—
		4	Сухая	0	3	0	0	—	0
		24	"	0	0	0	0	0	0
90	"	1	Вершина сухая	62	88	36	0,37	0,35	0,34
		4	На боковых ветках редкая листва	22	47	0	0,42	0,41	0
		24	Сухая	0	0	0	0	0	0

исключением уровня, расположенного выше полосы нанесения арборицида (табл. 2). В примыкающих к камбию годичных слоях встречаются участки, лишенные живых клеток.

При осеннем анализе (через 4 месяца после базальной обработки) у березы были обнаружены на границе с полосой нанесения арборицида и ниже признаки старения клеток (увеличенная вакуолизация цитоплазмы, замедленный плазмолиз, снижение способности к прижизненному окрашиванию). Уменьшение количества живых клеток наиболее выражено в древесине, взятой ниже полосы нанесения арборицида. Во всех случаях отмирание клеток начинается в прикамбиальной зоне. Клетки лучевой паренхимы сохраняют сезонный ритм в изменении осмотического давления. Заметно повышается также вязкость цитоплазмы.

У осины через четыре месяца после обработки установлено интенсивное отмирание клеток лучевой паренхимы, которое наиболее активно идет в примыкающих к камбию годичных слоях. У оставшихся живых клеток жизнеспособность резко снижена: плазмолиз выражен не всегда четко, форма его близка к вогнутой, время плазмолиза растянуто до 30 мин, способность к прижизненному окрашиванию снижена. Однако величина осмотического давления остается достаточно высокой (табл. 2).

Через год после обработки деревьев арборицидом у березы, как и у осины, интенсивно отмирают клетки и заметно снижается их жизнеспособность. Медленнее отмирают клетки древесины, расположенной выше полосы нанесения арборицида. В лучевой паренхиме осины все клетки оказались мертвыми.

Заключение

Под влиянием арборицида в молодых слоях заболони березы и осины развивается процесс старения паренхимных клеток, который выражается в ненормально сильной вакуолизации цитоплазмы, повышении ее вязкости, значительном увеличении времени плазмолиза, снижении способности к окрашиванию нейтральным красным и в подавлении плазмолиза. У осины эти изменения четко выражены уже через месяц после обработки, у березы процесс старения и отмирания клеток растянут до года.

В литературе [11], [13] имеются данные об естественном старении и медленном отмирании паренхимных клеток по мере удаления их от камбия при образовании ядровой древесины. Под влиянием арборицида ускоренно стареют и отмирают клетки в молодых слоях заболони.

Осмотическое давление у деревьев обеих исследованных нами древесных пород через четыре месяца после базальной обработки значительно увеличивается. Такое увеличение совпадает с сезонным максимумом контрольных деревьев. Однако изменение величины осмотического давления вряд ли можно объяснить сезонным его ритмом. Частичное или полное усыхание кроны под действием арборицида приводит к нарушению нормального метаболизма паренхимных клеток древесины и, вероятно, к повышению концентрации клеточного сока. Повышение осмотического давления при отмирании клеток было отмечено также у осиновых побегов и опадающих листьев древесных пород [6], [12]. Высокое осмотическое давление способствует, вероятно, значительному увеличению влажности заболонной древесины [5]. Сохранению большой влажности благоприятствует также высокая проницаемость клеточных стенок, которую, как известно [3], [7], имеют растительные клетки перед отмиранием.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. В. Я. Александров. Цитофизиологическая оценка различных методов определения жизнеспособности растительных клеток. Труды БИН АН СССР, 10, 1955. [2]. П. А. Генкель, И. В. Цветкова. Влияние солей на вязкость протоплазмы и жароустойчивость растительных клеток. ДАН СССР, 74, 5, 1950. [3]. Н. А. Максимов, Л. В. Можаяева. Возрастные изменения коллоидно-химических свойств протоплазмы растительных клеток. ДАН СССР, XVII, 6, 1944. [4]. О. И. Полубояринов. Ядрообразование у лиственных пород и возможность его регулирования. Тезисы докладов всесоюзной конференции по современным проблемам древесиноведения, Минск, 1971. [5]. О. И. Полубояринов. Водный режим деревьев осины, обработанных арборицидами на основе базального метода. Труды ЛТА, № 144, 1972. [6]. Б. А. Рубин. Курс физиологии растений. Изд-во «Высшая школа», М., 1971. [7]. А. С. Трошин. Проблема клеточной проницаемости. Изд. АН СССР, М., 1956. [8]. А. Фрей-Висслинг, К. Мюлеталер. Ультраструктура растительной клетки. Изд-во «Мир», М., 1968. [9]. З. Штруггер. Практикум по физиологии растительных клеток и тканей. ИЛ, М., 1958. [10]. К. Эсау. Анатомия растений. Изд-во «Мир», М., 1969. [11]. M. M. Chattaway. The Sapwood-Heartwood Transition. Austr. For., Bd. 16, 1952. [12]. Cherng-Jiann Shine, L. W. Rees, R. M. Brown. Some Anatomical and Physiological Changes in Quaking Aspen Induced by Bark Removal with 2, 4, 5-T. «Forest Science», 3, 1958. [13]. V. Necsany. Die Vitalitätsveränderung der Parenchymzellen als physiologische Grundlage der Kernholzbildung. Holzforchung und Holzverwertung, 18, 4, 1966.

Поступила 29 октября 1973 г.

УДК 634.0.5

ТОВАРНАЯ СТРУКТУРА И ВОЗРАСТ СПЕЛОСТИ СМЕШАННЫХ КЛЕНОВО-ЛИПОВЫХ ДУБНЯКОВ ТУЛЬСКИХ ЗАСЕК

А. Д. ЛОЗОВОЙ

Воронежский лесотехнический институт

На материалах 29 пробных площадей рассмотрены вопросы товарной динамики и возраст спелости смешанных насаждений, сформировавшихся на базе лесных культур дуба. Установлено, что последние относятся ко 2-му классу товарности и достигают возраста спелости на 5—15 лет раньше, чем аналогичные семенные насаждения. По совокупности крупной и средней деловой древесины этот возраст равен 91—100 годам. Указаны резервы повышения товарности древостоев.

Известно, что в условиях лесов I группы, к которым в основном относятся Тульские засеки, древесину заготавливают в ограниченных объемах и большей частью за счет лесовосстановительных рубок, рубок ухода и санитарных. Поэтому для лесоводов представляют определенный интерес вопросы, связанные как с количественными, так и с качественными изменениями, происходящими в древостоях с возрастом, а также более точные методы их учета. Такие сведения можно получить, пользуясь таблицами хода роста, в достаточной мере отражающими местные условия [1]. Однако большинство существующих в настоящее время таблиц хода роста показывают только количественное изменение. В то же время именно сведения о качественной структуре насаждений важны при планировании и оценке ряда лесохозяйственных мероприятий и, главное, служат одним из критериев при обосновании возраста рубки насаждений [2].

Цель данной работы — показать на экспериментальном материале динамику товарной структуры наиболее сложных насаждений Северной лесостепи (смешанных кленово-липовых дубняков II класса бонитета) и обосновать возраст их технической спелости.

Таблица 1

Возраст, лет	Распределение запаса древесины по категориям годности и крупности, %																	
	в насаждении в целом						в древостоях основных пород											
	деловая				дрова	отходы	дуба						липы					
	крупная	средняя	мелкая	итого			деловая				дрова	отходы	деловая				дрова	отходы
					крупная	средняя	мелкая	итого	крупная	средняя			мелкая	итого				
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	100	25	62	13	—	—	100	18	68	14	—	—	100	31	55	14
30	—	23	77	53	34	13	—	14	86	42	45	13	—	25	75	60	26	14
40	—	44	56	67	20	13	—	43	57	61	26	13	—	48	52	69	17	14
50	2	65	33	70	17	13	2	68	29	71	16	13	1	67	32	69	17	14
60	7	77	16	69	18	13	8	78	14	70	17	13	6	78	16	67	19	14
70	17	73	10	68	19	13	19	71	10	69	18	13	10	79	11	66	20	14
80	32	63	5	67	20	13	39	56	5	69	18	13	15	78	7	64	22	14
90	48	49	3	66	21	13	58	39	3	69	18	13	22	73	5	62	24	14
100	63	36	1	65	22	13	77	23	—	68	19	13	30	65	5	60	26	14
110	75	24	1	65	22	13	90	10	—	68	19	13	41	58	1	58	28	14

Для этого были использованы таксационные показатели 29 пробных площадей, заложенных в смешанных кленово-липовых дубняках на территории Крапивинского лесхоза Тульской области в 1967—1970 гг. Под пробные площади подбирали участки насаждений с преобладанием дуба (искусственного происхождения) и имеющие большую полноту (0,8—1,0). На пробных площадях производили сплошной пересчет, обмер высот и рубку модельных деревьев. В процессе пересчета деревья распределяли по ярусам и породам, а в пределах породы — по ступеням толщины и категориям годности (деловые, полуделовые, дровяные). Модельные деревья рубили от каждой породы и в каждой ступени толщины, из числа деловых стволов. Срубленные модельные деревья обмеряли и раскряжевывали на круглые сортименты согласно ГОСТу 9462—60 и длине наиболее ходовых сортиментов различных классов крупности (от 3,0 до 6,5 м). Обработанные и выравненные данные о динамике товарной структуры представлены в табл. 1. Анализ таблицы показывает, что насаждения в целом и древостой отдельных пород кленово-липовой дубравы в основном относятся ко второму классу товарности, хотя в различные возрастные периоды процент выхода древесины неодинаков. В молодняках он колеблется от 25 до 67%, в средневозрастных более стабилен (70—66%) и снижается до 58% в спелых древостоях липы. Основными причинами, вызывающими снижение процента выхода деловой древесины в смешанных насаждениях, можно считать следующие:

1) существенный вред, наносимый лосями молодым древостоям дуба, клена, ильма (по нашим исследованиям, количество поврежденных дубков колеблется от 11 до 60%);

2) наличие в средневозрастных и приспевающих насаждениях особой дуба и клена, поврежденных морозобойными трещинами (до 19—24% от общего числа больных деревьев главной породы);

3) снижение с возрастом качества стволов липы в результате повреждения различными стволовыми и напennыми гнилями. Это может быть связано в основном с происхождением древостоя и отводимой ему ролью при формировании;

4) механические повреждения, наносимые в результате несоблюдения технологии рубок ухода. Такие древостой впоследствии становятся очагами развития грибных и бактериальных заболеваний.

Смешанные насаждения Тульской области имеют значительные резервы для повышения качественной структуры, которые могут быть реализованы даже при частичном устранении отмеченных факторов.

Приведенные в табл. 1 относительные показатели качественной структуры древостоев смешанных кленово-липовых дубрав не дают конкретного объемного представления. В связи с этим таблицы хода роста смешанных нормальных насаждений кленово-липовых дубрав II класса бонитета были дополнены данными об их сортиментной структуре (табл. 2).

Полученные таблицы позволяют судить не только о количественных и качественных изменениях в исследуемых насаждениях, но и о возрасте их технической спелости. На основании данных табл. 2 были вычислены показатели среднего прироста для главной породы в отдельные возрастные периоды (табл. 3).

Величины среднего объемного прироста показывают, что в зависимости от направленности хозяйства возраст технической спелости смешанных кленово-липовых дубняков II класса бонитета по категориям крупности сортиментов может быть принят различным: для крупной деловой древесины — около 120 лет, средней — 61—70, мелкой — 31—40, крупной + средней — 91—100 лет.

Возраст, лет	Состав древостоя, %	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечений, м ²
30	45Д	10,3	8,1	10,0
	38Лп	10,0	8,2	8,5
	17Сп	12,2	8,4	2,3
	Насаждение в целом	10,3	8,3	20,8
40	55Д	13,5	11,8	13,7
	34Лп	12,8	12,6	8,5
	11Сп	—	—	2,8
	Насаждение в целом	13,1	12,1	25,0
50	60Д	16,4	16,0	16,5
	32Лп	15,5	16,8	8,6
	8Сп	—	—	2,0
	Насаждение в целом	15,8	16,2	27,1
60	63Д	18,8	20,3	18,2
	32Лп	18,2	21,0	9,1
	5Сп	—	—	1,3
	Насаждение в целом	18,5	20,6	28,6
70	64Д	21,0	24,5	19,2
	32Лп	20,6	24,1	9,5
	4Сп	—	—	1,1
	Насаждение в целом	20,8	24,4	29,8
80	66Д	22,8	28,6	20,4
	34Лп	22,5	26,1	10,4
	Насаждение в целом	22,6	27,7	30,8
90	67Д	24,3	32,7	21,2
	33Лп	23,5	27,8	10,5
	Насаждение в целом	24,0	30,8	31,7
100	68Д	25,5	36,7	22,0
	32Лп	24,2	28,9	10,4
	Насаждение в целом	25,1	33,6	32,4
110	68Д	26,2	40,6	22,7
	32Лп	24,5	30,0	10,4
	Насаждение в целом	25,8	36,1	33,1

Примечание. Сп — породы-спутники.

Обобщая результаты проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

1. Смешанные кленово-липовые дубняки и составляющие их древостой сформировавшиеся на базе лесных культур дуба, введенных по схеме 4×1 м, относятся ко 2-му классу товарности.

2. Снижение выхода деловой древесины к возрасту 100—110 лет до 65% должно обеспокоить лесоводов Тульской области. Существующие методы формирования смешанных насаждений с преобладанием дуба, особенно с 50 лет, требуют пересмотра. Имеются реальные резервы для перевода насаждений в 1-й класс товарности.

3. Возраст технической спелости в древостое дуба смешанных насаждений наступает на 5—15 лет раньше, чем в чистых естественных дубняках. Это в основном определяется спецификой их формирования.

Полученные результаты по динамике сортиментной структуры и возрасту технической спелости позволят лесоводам Тульской области правильно подойти к обоснованию возраста рубки этих насаждений.

Таблица 2

Запас стволовой древесины, м ³	Товарная структура древостоев					
	деловая, м ³				дрова, м ³	отходы, м ³
	всего	крупная	средняя	мелкая		
61	27	—	4	23	26	8
54	33	—	8	25	15	6
24	14	—	5	9	6	4
139	74	—	17	57	47	18
102	64	—	27	37	25	13
64	44	—	21	23	12	8
21	17	—	7	10	1	3
187	125	—	55	70	38	24
138	98	2	67	29	22	18
74	51	—	34	17	13	10
20	13	1	4	8	5	2
232	162	3	105	54	40	30
168	118	9	92	17	28	22
87	59	4	46	9	16	12
15	10	—	6	4	4	1
270	187	13	144	30	48	35
194	134	25	96	13	35	25
97	65	7	51	7	20	12
11	6	3	2	1	3	2
302	205	35	149	21	58	39
216	149	59	83	7	40	27
111	70	11	54	5	26	15
327	219	70	137	12	66	42
234	161	93	64	4	43	30
115	69	16	50	3	31	15
349	230	109	114	7	74	45
250	170	130	40	—	48	32
118	69	21	46	2	33	16
368	239	151	86	2	81	48
263	178	164	14	—	52	33
123	70	29	39	2	36	17
386	248	193	53	2	88	50

Таблица 3

Возраст, лет	Средний прирост древостоя, м ³ , по категориям крупности деловой древесины				
	крупная	средняя	мелкая	крупная +средняя	общая деловая
30	—	0,1	0,8	0,1	1,0
40	—	0,7	0,9	0,7	1,7
50	0,04	1,3	0,6	1,4	2,0
60	0,15	1,5	0,3	1,7	2,0
70	0,4	1,3	0,2	1,7	2,0
80	0,7	1,0	0,1	1,7	1,9
90	1,0	0,7	0,04	1,7	1,8
100	1,3	0,4	—	1,7	1,7
110	1,5	0,1	—	1,6	1,6

Примечание. Тип условий местопрорастания D₂,
класс бонитета — II, класс товарности — 2.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. А. Д. Лозовой. О динамике видового состава и ходе роста смешанных кленово-липовых дубняков. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1971. [2]. И. М. Науменко. Опытные таблицы хода роста и сортиментной структуры дубовых семенных насаждений СССР. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1958.

Поступила 13 сентября 1973 г.

УДК 634.0.114.144

ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ АЗОТА В ЛЕСНЫХ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

И. К. БЛИНЦОВ, В. А. ИПАТЬЕВ

Белорусский технологический институт

Приведены данные о содержании аммиачного азота и нитратов в осушенных торфяно-болотных почвах переходного типа. Показано, что содержание подвижных форм азота в почве имеет сезонную изменчивость, зависит от возраста и полноты насаждения, а также от расстояния до мелiorативного канала.

К настоящему времени в Белорусской ССР осушено около 180 тыс. га лесных заболоченных и болотных земель. В девятой пятилетке лесосошение намечается еще на площади 55 тыс. га. Не все мелиорируемые лесные насаждения одинаково отзывчивы на осушение. Известны случаи малоэффективного и даже отрицательного влияния мелiorации. В связи с этим при выполнении лесосошительных работ необходимо детально изучить процессы, происходящие в торфяно-болотных почвах, и их влияние на рост древесных растений. Важную роль при этом играют процессы накопления и минерализации азота в почве.

Азот — важнейший элемент питания растений. В процессе роста растений он необходим для образования белка, который является главной составной частью протоплазмы, представляющей материальную основу всякого жизненного процесса [4].

Торфяно-болотные почвы отличаются довольно высоким содержанием азота, но он почти весь находится в форме белкового азота и продуктов распада белка, то есть малодоступен для растений. Осушение таких почв способствует активизации процессов размножения и минерализации азотистых веществ [3].

Важнейшие процессы, от которых зависит степень обеспеченности растений доступными формами азота, — аммонификация азотсодержащих органических веществ и нитрификация аммиачного азота.

Объектом исследования послужило осушенное в 1967 г. переходное болото в Пуховичском лесхозе Минской области, где были заложены две серии постоянных пробных площадей. Каждая серия включает три пробные площади, расположенные на различном расстоянии (10, 50 и 150 м) от осушителя и отличающиеся возрастом насаждения. Таксационная характеристика приведена в табл. 1. Избыточная вода отводится сетью открытых каналов с расстоянием между ними 250—300 м. Водоприемником служит р. Талька. В районе расположения первой серии пробных площадей глубина осушителя 0,8 м, ширина по дну 0,4 м, коэффициент откоса 0,5; около проб второй серии глубина канала 1,2 м, ширина по дну 0,6 м, коэффициент откоса 0,5. Мощность тор-

Таблица 1

№ серии	№ пробной площади	Площадь пробы, га	Расстояние до осушителя, м	Возраст, лет	Класс бонитета	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Полнота	Число стволов на 1 га	Запас, приведенный к одной полноте, м ³
I	1	0,25	10	20	V	3,0	3,8	0,5	2040	7,6
	2	0,25	50	20	V	2,8	3,8	0,6	2050	6,5
	3	0,25	150	20	V	2,8	3,6	0,7	2280	4,7
II	4	0,30	10	60	Va	4,8	6,1	0,5	1630	16,5
	5	0,30	50	60	Va	5,3	6,6	0,6	1793	20,7
	6	0,30	150	60	Va	5,5	7,1	0,6	1800	21,5

фяной залежи на объекте 5—6 м. Почва на пробных площадях торфяная, мощная, развивающаяся на осоково-сфагновом торфе, подстилаемом с глубины 75 см тростниковым торфом. Тип леса — сосняк осоково-сфагновый, состав древостоя 10С.

Наши исследования были проведены по сезонам (весна, лето, осень) в 1969—1971 гг. В табл. 2 приведены данные за 1971 г.

Аммиачный азот определяли в свежих смешанных образцах в трехкратной повторности. Использовали метод, основанный на определении интенсивности окраски, возникающей при взаимодействии аммиака с реактивом Несслера [1].

Изучение водно-физических, агрохимических и микробиологических свойств почв пробных площадей показало, что по мере удаления от мелиоративных канав все эти свойства заметно ухудшаются.

Так, на пробных площадях первой серии в 10 м от осушителя величина аэрации на глубине 15—20 см была 17,6%, сумма поглощенных оснований в почве — 77,7 мг-экв на 100 г почвы, число аммонифицирующих бактерий — 8616 тыс., в 50 м — эти показатели несколько снизились, а в 150 м достигли минимальных значений: аэрация — 12,4%, сумма поглощенных оснований — 63,2 мг-экв на 100 г почвы, число аммонификаторов — 872 тыс. на 1 г абс. сухой почвы.

В тесной связи с водно-физическими, агрохимическими и микробиологическими свойствами почв находятся и процессы аммонификации (табл. 2).

Исследованиями установлена некоторая динамика в накоплении аммиачного азота по сезонам года. Весной, когда климатические условия менее благоприятны для процесса нитрификации и вегетация растений только начинается, наблюдается более высокое содержание аммиачного азота, чем летом. В осеннее же время, в силу затухания процесса нитрификации и уменьшения потребления аммиака древесной и травянистой растительностью, содержание аммиачного азота несколько увеличивается. Установлено также некоторое преобладание аммиачного азота в почвах пробных площадей второй серии, где произрастают более высоковозрастные насаждения. Очевидно, молодые насаждения более отзывчивы к осушению и потребляют поэтому значительно больше аммиачного азота, чем насаждения старшего возраста. Кроме того, меньшая полнота насаждения на пробных площадях второй серии способствует активизации процесса аммонификации в почве [2].

Осенью, когда повышается уровень грунтовых вод, ухудшается аэрация почвы и сокращается потребление аммиака древесной растительностью, содержание аммиачного азота в верхнем слое торфа снижается по мере удаления от мелиоративной канавы. Весной же и летом при наибольшем потреблении аммиачного азота древесной растительностью, особенно вблизи осушителя, где наблюдается лучший рост

Таблица 2

№ серии	№ пробной площади	Расстояние до осушителя, м	Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание азота аммиачного (числитель) и нитратного (знаменатель), мг на 100 г почвы		
					весной	летом	осенью
I	1	10	T ₁	15—20	$\frac{0,062}{0,064}$	$\frac{0,040}{0,096}$	$\frac{0,068}{0,028}$
			T ₂	40—50	$\frac{0,025}{0,028}$	$\frac{0,023}{0,042}$	$\frac{0,040}{0,022}$
			T ₃	110—120	$\frac{0,005}{0,007}$	$\frac{0,002}{0,012}$	$\frac{0,003}{0,007}$
	2	50	T ₁	15—20	$\frac{0,064}{0,053}$	$\frac{0,045}{0,096}$	$\frac{0,049}{6,029}$
			T ₂	40—50	$\frac{0,020}{0,028}$	$\frac{0,032}{0,072}$	$\frac{0,032}{0,016}$
			T ₃	110—120	$\frac{0,004}{0,009}$	$\frac{0,001}{0,008}$	$\frac{0,002}{0,005}$
	3	150	T ₁	15—20	$\frac{0,071}{0,033}$	$\frac{0,068}{0,114}$	$\frac{0,044}{0,020}$
			T ₂	40—50	$\frac{0,028}{0,024}$	$\frac{0,031}{0,041}$	$\frac{0,024}{0,020}$
			T ₃	110—120	$\frac{0,002}{0,009}$	$\frac{0,002}{0,002}$	$\frac{0,001}{0,009}$
II	1	10	T ₁	15—20	$\frac{0,077}{0,066}$	$\frac{0,031}{0,090}$	$\frac{0,066}{0,028}$
			T ₂	40—50	$\frac{0,046}{0,022}$	$\frac{0,020}{0,081}$	$\frac{0,037}{0,019}$
			T ₃	110—120	$\frac{0,006}{0,009}$	$\frac{0,009}{0,006}$	$\frac{0,008}{0,002}$
	2	50	T ₁	15—20	$\frac{0,077}{0,061}$	$\frac{0,036}{0,094}$	$\frac{0,044}{0,031}$
			T ₂	40—50	$\frac{0,051}{0,020}$	$\frac{0,021}{0,072}$	$\frac{0,032}{0,016}$
			T ₃	110—120	$\frac{0,004}{0,009}$	$\frac{0,007}{0,006}$	$\frac{0,004}{0,002}$
	3	150	T ₁	15—20	$\frac{0,081}{0,052}$	$\frac{0,033}{0,109}$	$\frac{0,040}{0,019}$
			T ₂	40—50	$\frac{0,033}{0,018}$	$\frac{0,024}{0,062}$	$\frac{0,022}{0,010}$
			T ₃	110—120	$\frac{0,002}{0,002}$	$\frac{0,001}{0,002}$	$\frac{0,001}{0,002}$

древесных растений, отмечена обратная зависимость: с удалением от осушителя количество аммиачного азота закономерно увеличивается. Как показали исследования некоторых авторов [5], [6], основной причиной большего содержания подвижных форм основных элементов, в том числе и подвижных форм азота, при более высоком стоянии грунтовых вод и в худших почвенных условиях является уменьшенное потребление этих элементов растениями из почвы.

Процесс нитрификации в почве протекает в несколько иных условиях, чем процесс аммонификации, то есть при большем доступе воз-

духа, отсутствии избыточной влаги, определенной температуре и реакции почвы [4].

Высокое стояние грунтовых вод в неосушенных торфяных почвах создает неблагоприятные условия для развития нитрифицирующих бактерий и образования нитратов [3].

Нитратный азот определяли в свежих образцах почвы дисульфидно-феноловым методом [1]. Исследования показали (табл. 2), что нитратный азот проникает в толщу осушенной лесной торфяной почвы на глубину до 100 см, на сельскохозяйственных землях значительно меньше. И. С. Лупинович и Т. Ф. Голуб [3], исследуя почву колхоза «Коминтерн» Минского района, отмечают, что в осушенных торфяных почвах заметны следы нитратов на глубине 40 см, а в неосушенных уже с глубины 10 см процесс нитрификации прекращается.

Изучение сезонной динамики нитратного азота показало, что наибольшее содержание его наблюдается в летний период, когда уровень грунтовых вод минимальный и условия благоприятствуют окислению аммиака. В этот период процесс нитрификации преобладает над аммонификацией. Изменение содержания нитратов в торфяной почве по мере удаления от осушителя имеет свои особенности. Летом, когда процесс нитрификации очень активен и потребление нитратов древесной и травянистой растительностью максимально, самым высоким содержанием нитратного азота отличается почва наиболее удаленных от осушителей пробных площадей, где наблюдается худший рост леса. Весной и осенью, в силу низкой активности процесса нитрификации и меньшего потребления нитратов растительностью, содержание нитратного азота, наоборот, имеет тенденцию к уменьшению по мере удаления от мелиоративной канавы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Е. В. Аринушкина. Руководство по химическому анализу почв. Изд. МГУ, М., 1970. [2]. А. В. Бойко. Содержание аммиачного азота в почве в зависимости от полноты сосновых молодняков. Бюллетень научно-технической информации БелНИИЛХа, Гомель, 1958. [3]. И. С. Лупинович, Т. Ф. Голуб. Торфяно-болотные почвы и их плодородие. Изд. АН БССР, Минск, 1958. [4]. Д. Н. Прянишников. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. Изд. АН СССР, М., 1945. [5]. Н. И. Пьявченко. Агрохимические свойства торфяников среднерусской лесостепи. Труды Института леса АН СССР, 26, М., 1955. [6]. Л. П. Смоляк. Болотные леса и их мелиорация. Изд-во «Наука и техника», Минск, 1969.

Поступила 17 сентября 1973 г.

УДК 634.0.5

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТВОЛОВ ПО СТУПЕНЯМ ПЛОЩАДЕЙ СЕЧЕНИЙ ПРИ НОРМАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ СТВОЛОВ ПО ДИАМЕТРАМ

С. И. СВАЛОВ

ВНИИЛМ

Методом биномиального разложения центральных моментов на математические ожидания вариационного ряда диаметров найдены точные формулы для расчета показателей асимметрии и эксцесса кривых распределения стволов по ступеням площадей сечений через коэффициент вариации нормально распределенных стволов по ступеням диаметров.

Изучение закономерностей в строении насаждений было начато в прошлом веке. Первые работы в этой области были направлены на определение места среднего дерева в ранжированном по диаметрам стволов процентном ряду. Вейзе и Вимменаур [8] установили, что среднее по площади сечения дерево лежит на 57,6% вправо от тонкого ствола в древостоях любой породы и возраста. Однако дальнейшие исследования [1], [3], [4], [7] показали, что форма рядов распределения стволов по диаметрам, а следовательно, и место среднего дерева зависят от различных факторов.

Развитие статистических методов обработки вариационных рядов отодвинуло на второй план оценку места среднего дерева. В настоящее время пользуются такими относительными статистическими параметрами, как коэффициент вариации, показатели асимметрии и эксцесса и др., которые более полно отражают таксационное строение древостоя.

Статистическими показателями, определяющими форму кривых распределения стволов по ступеням площадей сечений, являются: коэффициент вариации c_g , показатель асимметрии α_g и показатель эксцесса ϵ_g площадей сечений. Расчет этих показателей возможен на основе статистических показателей рядов распределения стволов по диаметру.

Данное сообщение ограничено рассмотрением нормального распределения стволов по ступеням диаметров.

Автором [5] было показано, что при нормальном распределении стволов по диаметрам коэффициент вариации площадей сечений c_g точно определяется коэффициентом вариации диаметров c_d по формуле

$$c_g = \frac{\sqrt{4\tau^2 + 2}}{1 + \tau^2} \cdot 100\%; \quad \tau = \frac{100}{c_d}. \quad (1)$$

Ниже дан вывод точных формул для расчета показателей асимметрии α_g и эксцесса ϵ_g площадей сечений через коэффициент вариации c_d нормально распределенных стволов по ступеням диаметров.

Пусть имеется полученный в результате n равноточных измерений вариационный ряд значений диаметров стволов древостоя, имеющих нормальное распределение.

Показатели асимметрии α_g и эксцесса ν_g площадей сечений находим через третий μ_{g3} и четвертый μ_{g4} центральные моменты и среднее квадратическое отклонение σ_g вариационного ряда площадей сечений по формулам

$$\alpha_g = \frac{\mu_{g3}}{\sigma_g^3}; \quad (2)$$

$$\nu_g = \frac{\mu_{g4}}{\sigma_g^4} - 3. \quad (3)$$

Третий центральный момент μ_{g3} площадей сечений, выраженный через средний квадратический диаметр древостоя d_g и отдельные значения диаметров стволов d_i ($i=1, \dots, n$), равен

$$\begin{aligned} \mu_{g3} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi d_i^2}{4} - \frac{\pi d_g^2}{4} \right)^3 = \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 & \left(\frac{\sum_{i=1}^n d_i^6}{n} - \frac{3d_g^2 \sum_{i=1}^n d_i^4}{n} + \right. \\ & \left. + \frac{3d_g^4 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n d_g^6}{n} \right) = \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \left(\frac{\sum_{i=1}^n d_i^6}{n} - \frac{3d_g^2 \sum_{i=1}^n d_i^4}{n} + 2d_g^6 \right) \end{aligned} \quad (4)$$

или в символах математических ожиданий

$$\mu_{g3} = \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 (\mathbf{M}[d^6] - 3\mathbf{M}[d^2] \mathbf{M}[d^4] + 2\mathbf{M}^3[d^2]). \quad (5)$$

Аналогично разложим четвертый центральный момент μ_{g4} площадей сечений на математические ожидания диаметров:

$$\begin{aligned} \mu_{g4} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi d_i^2}{4} - \frac{\pi d_g^2}{4} \right)^4 = \left(\frac{\pi}{4} \right)^4 (\mathbf{M}[d^8] - 4\mathbf{M}[d^2] \mathbf{M}[d^6] + \\ + 6\mathbf{M}^2[d^2] \mathbf{M}[d^4] - 3\mathbf{M}^4[d^2]). \end{aligned} \quad (6)$$

Математические ожидания вариационного ряда диаметров находим по общей формуле, предложенной автором [6], через биномиальное разложение на центральные моменты ряда диаметров ν_{s-j} порядка $s-j$ и средний арифметический диаметр \bar{d}^j в j -той степени:

$$\mathbf{M}[d^s] = \sum_{j=0}^s \binom{s}{j} \nu_{s-j} \bar{d}^j. \quad (7)$$

Вынося за знак суммы среднее квадратическое отклонение ряда диаметров σ_d^s степени s , имеем

$$\mathbf{M}[d^s] = \sigma_d^s \sum_{j=1}^s \binom{s}{j} r_{s-j} \tau^j; \quad \tau = \frac{100}{c_d}, \quad (8)$$

где r_{s-j} — основной (нормированный) момент порядка $s-j$ вариационного ряда диаметров;

$$r_0 = 1; \quad r_1 = 0; \quad r_2 = 1.$$

Основные моменты r_{s-j} для нормального ряда распределения стволов по ступеням диаметров — известные постоянные величины.

Нечетные основные моменты нормального ряда распределения равны нулю, то есть $r_1=r_3=r_5=\dots=0$. Четные основные моменты нормального распределения r_{2U} [2]

$$r_{2U} = \frac{(2U)!}{2^U \cdot U!}. \quad (9)$$

Так, интересующие нас четвертый r_4 , шестой r_6 и восьмой r_8 основные моменты диаметров соответственно равны:

$$r_4 = \frac{(2 \cdot 2)!}{2^2 \cdot 2!} = 3; \quad r_6 = \frac{(2 \cdot 3)!}{2^3 \cdot 3!} = 15; \quad r_8 = \frac{(2 \cdot 4)!}{2^4 \cdot 4!} = 105.$$

По формуле (8) и значениям основных моментов r_{s-j} нормального распределения для математических ожиданий $M[d^s]$ порядков $s = 2, 4, 6, 8$ нормального распределения диаметров получаем

$$\left. \begin{aligned} M[d^2] &= \sigma_d^2 (1 + \tau^2); \\ M[d^4] &= \sigma_d^4 (3 + 6\tau^2 + \tau^4); \\ M[d^6] &= \sigma_d^6 (15 + 45\tau^2 + 15\tau^4 + \tau^6); \\ M[d^8] &= \sigma_d^8 (105 + 420\tau^2 + 210\tau^4 + 28\tau^6 + \tau^8). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Подставляя (10) в формулы (5) и (6), после некоторых преобразований имеем

$$\mu_{g3} = 8 \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \sigma_d^6 (3\tau^2 + 1); \quad (11)$$

$$\mu_{g4} = 12 \left(\frac{\pi}{4} \right)^4 \sigma_d^8 (4\tau^4 + 20\tau^2 + 5). \quad (12)$$

Формула для оценки среднего квадратического отклонения площадей сечений σ_g найдена автором ранее [5]. Для нормального распределения ($r_3 = 0, r_4 = 3$) диаметров

$$\sigma_g = \left(\frac{\pi}{4} \right) \sigma_d^2 \sqrt{4\tau^2 + 2}. \quad (13)$$

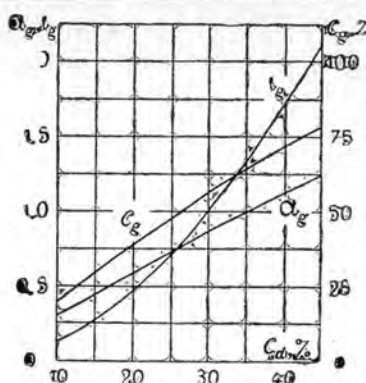
Отсюда по формулам (2) и (3) находим выражения для показателей асимметрии α_g и эксцесса ι_g ряда площадей сечений

$$\alpha_g = \frac{\mu_{g3}}{\sigma_g^3} = \frac{8 \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \sigma_d^6 (3\tau^2 + 1)}{\left(\frac{\pi}{4} \cdot \sigma_d^2 \sqrt{4\tau^2 + 2} \right)^3} = \frac{8(3\tau^2 + 1)}{\sqrt{(4\tau^2 + 2)^3}} = \sqrt{\frac{8(3\tau^2 + 1)^2}{(2\tau^2 + 1)^3}}; \quad (14)$$

$$\iota_g = \frac{\mu_{g4}}{\sigma_g^4} - 3 = \frac{12 \left(\frac{\pi}{4} \right)^4 \sigma_d^8 (4\tau^4 + 20\tau^2 + 5)}{\left(\frac{\pi}{4} \cdot \sigma_d^2 \sqrt{4\tau^2 + 2} \right)^4} - 3 = \frac{12(4\tau^2 + 1)}{(2\tau^2 + 1)^2}; \quad \tau = \frac{100}{c_d}. \quad (15)$$

Таким образом, зная коэффициент вариации ряда диаметров стволов, имеющих нормальное распределение, можно рассчитать все три показателя формы кривой распределения стволов по ступеням площадей сечений: коэффициент вариации площадей сечений c_g — по формуле (1), показатель асимметрии площадей сечений α_g — по формуле (14) и показатель эксцесса площадей сечений ι_g — по формуле (15).

Рис. 1.



На рис. 1 показано изменение этих показателей в зависимости от коэффициента вариации c_d нормального распределения числа стволов по диаметрам.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. М. Л. Дворецкий. Текущий прирост древесины ствола и древостоя. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1964. [2]. И. В. Дудин-Барковский, Н. В. Смирнов. Теория вероятностей и математическая статистика в технике. ГИТТЛ, М., 1955. [3]. К. Е. Никитин. Лиственница на Украине. Изд-во «Урожай», Киев, 1966. [4]. Н. Н. Свалов, С. Н. Свалов. О динамике рядов распределения диаметров стволов в одновозрастных сосняках. Журн. «Лесоведение» № 5, 1973. [5]. С. Н. Свалов. Формула для оценки вариации площадей сечений. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 2, 1972. [6]. С. Н. Свалов. Формула для определения точности средней площади сечения древостоя. ЦБНТИлесхоз, «Лесохозяйственная информация» № 3, 1973. [7]. С. В. Соколов. Анализ параметров распределения диаметров стволов модальных древостоев сосны. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 4, 1972. [8]. Н. В. Третьяков. Закон единства в строении насаждений. Изд-во «Новая деревня», М.—Л., 1927.

Поступила 16 октября 1973 г.

УДК 531.1 : 631.613

КИНЕМАТИКА РАБОЧИХ ОРГАНОВ НАКЛОННО-ФРЕЗЕРНОГО ТЕРРАСЕРА

В. С. ГРЕЧКИН, И. И. ГУРОВ

Воронежский лесотехнический институт

Исследована кинематика точки конца рабочего органа фрезы террасера наклонного фрезерования для случая продольно-поперечного наклона оси вращения относительно поверхности опоры трактора. Решены общее уравнение движения, уравнения скорости и ускорения точки реза.

Террасирование склонов оврагов, балок и гор признано самым эффективным способом обработки почвы с целью защиты от эрозии.

В Центральном-Черноземной полосе и прилегающих областях большие площади овражно-балочных склоновых земель могут быть затеррасированы для посадки садов и лесных культур, но эти работы почти не проводятся из-за отсутствия высокопроизводительных террасеров.

Кафедра механизации лесохозяйственных работ Воронежского лесотехнического института разработала наклонно-фрезерный террасер, способный нарезать за один непрерывный проход террасы скамьевид-

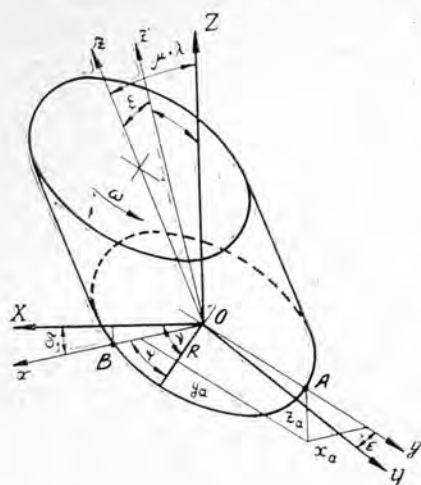


Рис. 1. К определению кинематики точки реза наклонно-фрезерного террасера.

сти и полного профиля полотна террасы за один непрерывный проход. Изменение величины окружной скорости v и наклоны барабана влияют на транспортирующие возможности рабочих органов террасера.

Для определения режимов работы наклонно-фрезерного террасера нами произведен анализ кинематики его рабочих органов. За систему главных координат XYZ (рис. 1) принята такая, в которой ось OZ вертикальна (определяется гравитацией), ось OX — продольная, совпадает с направлением движения, ось OY — поперечная, направлена в горизонтальной плоскости XOY перпендикулярно оси OX в сторону направления склона.

В системе главных координат XYZ ось вращения фрезерного барабана будет наклонена на угол δ в продольной вертикальной плоскости и повернута относительно продольной оси OX на угол ϵ , тогда угол между осями OZ и Oz

$$\cos \mu = \cos \delta \cdot \cos \epsilon$$

и угол поперечного наклона θ получим из соотношения

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\operatorname{tg} \epsilon}{\cos \delta}.$$

Для рассмотрения траектории движения точки конца рабочего органа фрезерного барабана радиусом R определим уравнение плоскости, полученной наклоном вспомогательной системы координат xuz .

Уравнение определяется по координатам трех точек

$$O(X_1 = Y_1 = Z_1 = 0);$$

$$A(X_2 = R \sin \epsilon \cdot \sin \delta; Y_2 = R \cos \epsilon; Z_2 = R \sin \epsilon \cdot \cos \delta);$$

$$B(X_3 = R \cos \delta; Y_3 = 0; Z_3 = -R \sin \delta)$$

и после преобразования имеет вид

$$X \operatorname{tg} \delta - Y \operatorname{tg} \theta + Z = 0.$$

ного профиля с шириной полотна 2,5—3,5 м на склонах крутизной до 35° .

Основная часть этого террасера — фрезерный барабан, ось вращения которого расположена вертикально и может наклоняться в продольной и поперечной вертикальных плоскостях на угол до $\pm 15^\circ$, что обеспечивает быстрое врезание барабана в грунт склона, выезд и выравнивание трактора на полотне нарезанной террасы. Рабочие органы, расположенные по периферии фрезерного барабана, разрабатывают грунт террасы и транспортируют (отбрасывают) его вниз по склону, формируя насыпную часть и полное полотно террасы. Как показали наши исследования, для угла резания $35\text{—}40^\circ$ необходима окружная скорость рабочих органов барабана в диапазоне 6—8 м/сек, что обеспечивает формирование насыпной ча-

Траектория движения точек фрезерного барабана вокруг оси Oz представлена окружностью, полученной пересечением плоскости и сферы

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2$$

и имеет вид

$$X^2 - X \operatorname{tg} \delta + Y^2 + Y \operatorname{tg} \theta + Z^2 - Z - R^2 = 0.$$

в системе координат $Oxyz$ имеем

Для произвольно выбранной точки A фрезерного барабана в си-

$$x = R \sin \varphi; \quad y = -R \cos \varphi; \quad z = 0.$$

Определим по Эйлеру угол нутации $\lambda = \mu$ и угол прецессии ψ , тогда угол чистого вращения ν найдем из выражения

$$\cos \nu = \cos \psi \cdot \cos \delta.$$

Угол прецессии

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \theta}.$$

После соответствующих преобразований получим

$$\cos \lambda = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta + 1}}; \quad \sin \lambda = \frac{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta}}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta + 1}};$$

$$\cos \psi = \frac{\operatorname{tg} \theta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta}}; \quad \sin \psi = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta}};$$

$$\cos \nu = \frac{\operatorname{tg} \theta \cdot \cos \delta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta}}; \quad \sin \nu = \frac{\sin \delta \sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta + 1}}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta}}.$$

Для упрощения последующих выражений обозначим

$$l_1 = \frac{\cos \delta \cdot \operatorname{tg}^2 \theta - \sin \delta \cdot \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta};$$

$$m_1 = \frac{\operatorname{tg} \theta (\sin \delta \sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta + 1} + \cos \delta \cdot \operatorname{tg} \theta)}{(\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta + 1}};$$

$$n_1 = \sin \delta;$$

$$l_2 = -\frac{\sin \delta \cdot \operatorname{tg} \theta [\cos \delta (\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta + 1) + 1]}{(\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta + 1}};$$

$$m_2 = \frac{\operatorname{tg}^2 \theta \cdot \frac{\cos 2\delta}{\cos \delta} - \operatorname{tg}^3 \delta}{(\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta + 1}};$$

$$n_2 = \frac{\cos \delta \operatorname{tg} \theta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \delta + 1}}.$$

Тогда преобразованные координаты точки A

$$X = l_1 x + l_2 y + l_3 z;$$

$$Y = m_1 x + m_2 y + m_3 z;$$

$$Z = n_1 x + n_2 y + n_3 z$$

и после подстановки

$$X = R (l_1 \sin \varphi - l_2 \cos \varphi);$$

$$Y = R (m_1 \sin \varphi - m_2 \cos \varphi);$$

$$Z = R (n_1 \sin \varphi + n_2 \cos \varphi).$$

Уравнение движения точки A с учетом переносной скорости v и угловой скорости вращения ω в параметрической форме

$$X = x_a = R (l_1 \sin \varphi - l_2 \cos \varphi) + \frac{\varphi}{\omega} \cdot v;$$

$$Y = y_a = R (m_1 \sin \varphi - m_2 \cos \varphi);$$

$$Z = z_a = R (n_1 \sin \varphi - n_2 \cos \varphi)$$

и в абсолютной системе координат

$$X = l_1 \cdot \frac{Zm_2 - Yn_2}{n_1m_2 - m_1n_2} - l_2 \cdot \frac{Zm_1 - Yn_1}{n_1m_2 - m_1n_2} + \frac{v}{\omega} \arcsin \frac{Zm_2 - Yn_2}{R(n_1m_2 - n_2m_1)}.$$

Абсолютная скорость точки A (v_A) и ее проекции

$$v_A = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2};$$

$$v_x = \frac{dX}{dt} = \frac{dX}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega R (l_1 \cos \varphi + l_2 \sin \varphi) + v;$$

$$v_y = \frac{dY}{dt} = \frac{dY}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega R (m_1 \cos \varphi + m_2 \sin \varphi);$$

$$v_z = \frac{dZ}{dt} = \frac{dZ}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega R (n_1 \cos \varphi + n_2 \sin \varphi).$$

Ускорение точки A (a_A) и его составляющие

$$a_A = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2};$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \omega^2 R (l_2 \cos \varphi - l_1 \sin \varphi);$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \omega^2 R (m_2 \cos \varphi - m_1 \sin \varphi);$$

$$a_z = \frac{dv_z}{dt} = \omega^2 R (n_2 \cos \varphi - n_1 \sin \varphi);$$

$$a_A = \omega^2 R \sqrt{K};$$

$$K = \sin^2 \varphi (l_2^2 + m_2^2 + n_2^2) + \cos^2 \varphi (l_1^2 + m_1^2 + n_1^2) - \\ - \sin 2\varphi (l_1 l_2 - m_1 m_2 + n_1 n_2).$$

Полученные результаты исследований кинематики рабочих органов фрезерного барабана позволяют в дальнейшем выполнить силовой и энергетический анализ работы фрезы террасера наклонного фрезерования при образовании террасы.

УДК 631.543.82

УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЛОС ДЛЯ РАВНОМЕРНОГО ОТЛОЖЕНИЯ СНЕГА

М. Е. ВАСИЛЬЕВ

Целиноградский сельскохозяйственный институт

Рассматривается метод расчета оптимальных значений подкрановой ажурности полезащитных насаждений, дающих наиболее равномерное отложение снега на межполосных полях. В основу методики положены закономерности механики снежных метелей и аэродинамические свойства лесополос. Предложены формулы для расчета длины снежных шлейфов у полос и их ажурности в подкрановом ярусе, разработана шкала подкрановой ажурности в зависимости от количества рядов, диаметра стволов деревьев на высоте 0,5 м, то есть на середине оптимальной высоты подкранового яруса.

Одна из основных функций полезащитных лесополос в сухой степи — обеспечение равномерного отложения снега на прилегающих полях. Однако пока нет теоретических обоснований оптимальных конструктивных параметров насаждений, обладающих наиболее высоким снегораспределительным эффектом. Предпринимая подобную попытку, мы исходим из основных законов механики снежных метелей и аэродинамики лесополос ажурно-продуваемых и продуваемых конструкций (без кустарников), которые в условиях метелистых зим юга Сибири и севера Казахстана наиболее целесообразны.

Важная количественная характеристика метели — ее твердый расход (ТРМ)

$$Q = \Phi \rho \cdot D^2 (v_j - 2)^3 : (\delta^2 \ln j : \delta) \text{ г} \cdot \text{м} \cdot \text{сек},$$

где $\Phi = \pi : 128$;

D — средний диаметр приземных вихрей ветра при турбулентном движении, м;

v_j — скорость ветра на высоте j ;

δ — высота бугорков шероховатости поверхности снега, м [1];

ρ — массовая плотность воздуха

$$\rho = 0,1735B : \left(1 + \frac{t^\circ}{273}\right) \text{ г} \cdot \text{сек}^2 \cdot \text{м}^4,$$

здесь B — барометрическое давление, мм рт. ст.;

t° — температура воздуха.

На основании закономерностей двухфазных метелевых потоков и аэромеханических свойств лесополос можно считать, что наиболее важными параметрами конструкции насаждений, влияющими на их снегораспределительные свойства, являются высота подкранового просвета и его ажурность, что подтверждается также материалами многих полевых наблюдений, в том числе и наших. Но для практики важно установить оптимальную подкрановую ажурность, высоту поднятия кроны и количество рядов. Чем меньше просветов между стволами подкрано-

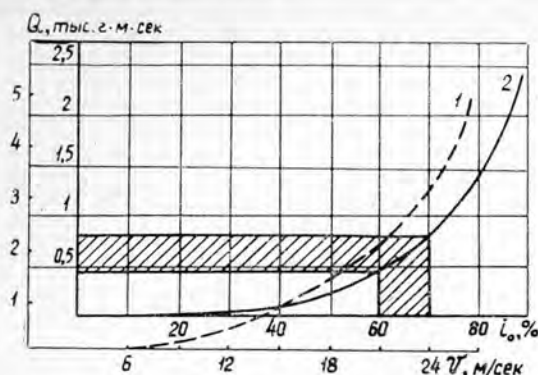
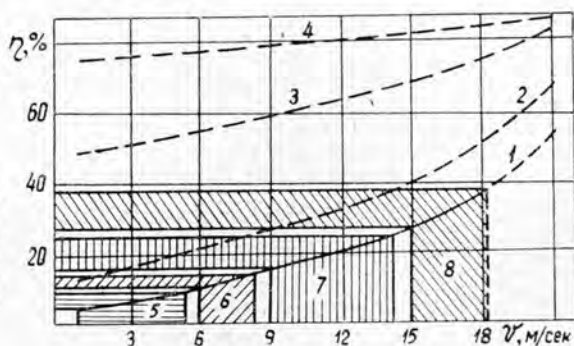


Рис. 1. Влияние подкороновой ажурности полос i_0 (кривая 1) и скорости ветра v (кривая 2) на величину ТРМ.

$D = \delta = 0,005$ м; $h = 0,05$ м; $\Phi = 0,02$. Кривая 2 рассчитана при $v = 18$ м/сек.

Рис. 2. Снижение (η) скорости ветра (v) у поверхности почвы при проходе его через лесополосу.

Конструкция полос: 1 — ажурно-продуваемая; 2 — продуваемая; 3 — ажурная; 4 — плотная. Скорость ветра: 5 — докритическая; 6 — начальная метелевая; 7 — оптимальная; 8 — экстремальная. Значения скоростей заштрихованы. Отрезки кривых при скорости ветра более 18 м/сек получены при помощи экстраполяции.



вого яруса, тем сильнее снижается скорость ветра и несущая сила снеготетели, интенсивнее выпадает твердая фаза (снежинки) и короче снежные шлейфы (рис. 1, 2). Необходимую высоту подкоронового яруса и его ажурность в значительной мере можно обеспечить, подбирая соответствующие породы и схемы размещения растений, а позднее проводя рубки ухода.

Влияние величины подкороновой ажурности лесополос на несущую силу снеготетелевого потока показано в табл. 1.

Таблица 1

№ полос	Количество рядов в полосах	Подкороновая ажурность i_0 , %	Несущая сила снеготетели, г·см·сек/дн, при скорости ветра в открытой степи, м/сек				
			5	10	15	20	25
1	3	70	0,00585	0,02340	0,05265	0,09365	0,14525
2	4	60	0,00265	0,01040	0,02340	0,04160	0,06500
3	7(1)	25	0,00039	0,00146	0,00388	0,00585	0,00917
4	10(4)	5	0,00004	0,00016	0,00037	0,00065	0,00104

Примечание. Первая лесополоса ажурно-продуваемая, вторая — продуваемая, третья — ажурная, четвертая — плотная. Расчет проведен по формуле $R_d = 0,5 v v^2$. При этом снижение скорости ветра в насаждениях принято согласно полевым замерам. Цифры в скобках — количество рядов кустарника.

Зависимость Q от v и i_0 характеризуется кубическими параболоми (рис. 1). При ажурности 50—60% и выше несущая сила и ТРМ резко возрастают, так как частицы получают большее ускорение. Поэтому в самом насаждении твердая фаза выпадает лишь частично и, удаляясь

по ветропотоку, отлагается в шлейфе. При $i_0 = 80 \div 90\%$ относительная скорость твердой фазы сильно возрастает, и ТРМ при проходе через подкороновый ярус практически равен полевому. В результате твердая фаза почти не выпадает, снег не задерживается, заметного шлейфа не образуется и, пройдя короткий отрезок длины разгона (ДРМ), метель снова полностью насыщается. Так, в Кулунде к концу зимы в лесополосах с $i_0 = 70\%$ (3 ряда) высота снега составляет 38—49 см; при $i_0 = 60\%$ (4 ряда) — 50—78 см, при наличии 25% просветов (ажурная конструкция) — 116—145 см, в плотной (5%) — 2,3—2,5 м. В этих случаях ДРМ составляет около 0,3—0,5 км.

Как было показано выше, кинетическая энергия метелевого потока и его несущая сила в насаждениях резко снижаются. При этом запас энергии ветровых струй расходуется на создание горизонтального аэродинамического напора (ГАН). В зависимости от ГАН скорость выхода ветровых струй из полос различна. Разность энергии ветропотока перед насаждением и за ним определяет степень снижения его несущей силы и характеризует снегораспределительные свойства лесополос в аэродинамической интерпретации.

При низовых метелях с наветренной поля на 1 пог. м лесополосы приносится определенный объем снега, который, перед тем как отложиться в шлейфе на заветренной стороне, должен пройти через подкороновый просвет насаждения — рабочее окно. Высоту окна можно принять 8—10 см, поскольку при низовых метелях более 90% твердой фазы проносится не выше этого уровня [1], [2].

Площадь рабочего окна

$$S_{\text{ок}} = \left(\sum_1^m S_{1-m}^0 + \sum_1^n h_0 d_{1-n} \right) f \text{ м}^2,$$

где $\sum_1^m S_{1-m}^0$ — сумма площадей просветов окна, м^2 ;

$\sum_1^n h_0 d_{1-n}$ — сумма площадей миделева сечения стволов, м^2 ;

h_0 — высота подкоронового яруса, м;

m — количество элементарных просветных окон, то есть окон, ограниченных двумя соседними стволами;

n — количество деревьев в пределах определяемого окна;

f — коэффициент ажурности, в долях единицы.

При достижении кроны ажурность окна резко снижается, что видно из выражения

$$i_{\text{кр}} = 100 - \left\{ \left[\left(\sum_1^X T_1 a + \sum_1^U T_2 b - XU T_1 T_2 \right) : ab \right] \cdot 100\% \right\},$$

где X и U — количество вертикально и горизонтально расположенных веток;

T_1 и T_2 — их средние диаметры, м;

a — высота кронового яруса лесонасаждений, м;

b — длина участка (или всей лесополосы), для которого определяется ажурность.

За вертикальные ветки приняты те, которые расположены к стволу под углом не более 45° , за горизонтальные — под углом выше 45° . Кроны лесополос с некоторым допущением представлены здесь как аэродинамические решетки. В результате уменьшения ажурности кронового яруса величина ТРМ сильно падает, и, как следствие, быстро нарастает сугроб.

В Кулундинской степи 1 пог. м лесополосы с подкрановой ажурностью 70% и менее за зимние месяцы задерживает 65—80 м³ снега. Этот показатель характеризует снегонакопительную способность насаждений и может быть назван удельным снегосборным эффектом (УСЭ). Величины УСЭ лесополос всех конструкций, кроме аллейных, весьма близки. Но объем отложившегося снега на поле в шлейфе и в насаждении находится в тесной зависимости от конструктивных признаков полос (рис. 3).

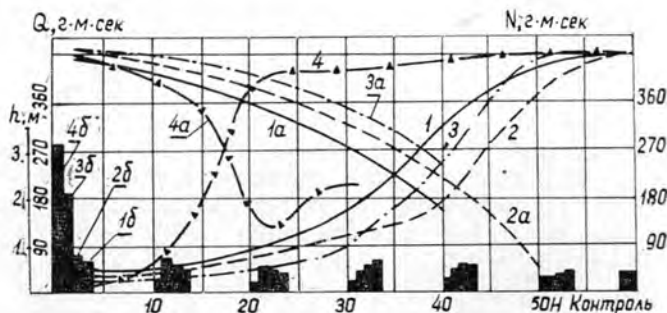


Рис. 3. Изменение величины твердого расхода (Q), его потери (N) и высоты снега (h) по мере отдаления от лесополос.

Конструкция полос: 1 — ажурно-продуваемая из 3 рядов; 2 — продуваемая из 4 рядов; 3 — ажурная из 7 рядов; 4 — плотная из 12 рядов. Буква «а» соответствует потере твердого расхода; б — высота снега на стерне пшеницы. Расход определен по формуле $Q = 0,092 v_{1,0}^3 g \cdot m \cdot \text{сек}$ при $v = 17 \text{ м/сек}$.

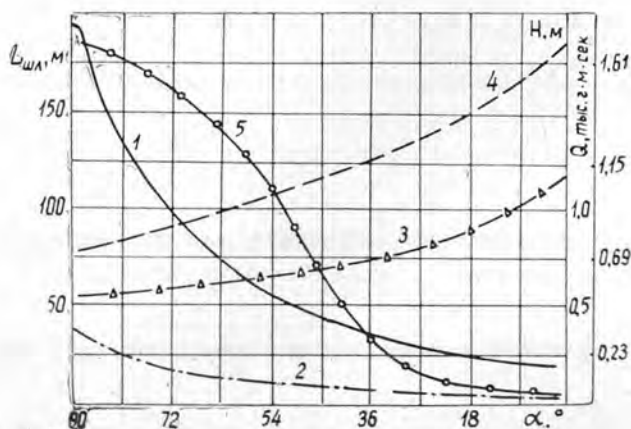


Рис. 4. Зависимость формы снежных шлейфов ($L_{\text{шл}}$ и H) и твердого расхода (Q) от конструкции полос и угла атаки снеговетрового потока (α).

1 и 3 — длина и максимальная высота снежного шлейфа у продуваемой лесополосы; 2 и 4 — то же для ажурной полосы с двумя рядами кустарника; 5 — твердый расход при заданных параметрах.

Высота и длина снежных шлейфов у лесополос, как и ТРМ, зависят от угла атаки снегометелевых потоков (рис. 4). Длина пути прохождения ветра в насаждении

$$L_0 = Z : [\cos (90^\circ - \beta)] \text{ м},$$

где Z — ширина полосы без закраек, м;
 β — угол атаки, °.

Так, при $\beta = 20^\circ$ и $z = 9$ м $l_0 = 26,3$ м; при $\beta = 80^\circ$ $l_0 = 9$ м и т. д. По энергетическому уровню скорость ветра при низовых метелях можно разделить на четыре градации, каждая из которых определяет конкретные параметры снеготелевого потока (табл. 2). При докритических скоростях практически ощутимого переноса снега не наблюдается. Но при скоростном барьере 6—8 м/сек он заметно активизируется. Когда в подкроновом ярусе на выходе из насаждений скорость ветра составляет 9—14 м/сек, то, независимо от скорости в открытой степи, у полос отлагаются длинные и пологие снежные шлейфы, достигающие наибольшей длины (120—160 м) при высоте по гребню 60—75 см (величина УСЭ максимальная), а снег на межполосном поле отлагается наиболее равномерно. Снег в таких случаях плотный, что объясняется, по-видимому, сильным обламыванием и сублимацией лучей снежинок. Другими словами, при скорости ветра 9—14 м/сек на выходе из лесополосы наблюдается максимальный снегораспределительный эффект. Поэтому указанная скорость принята за оптимальную метелевую.

Таблица 2

Скорость ветра, м/сек	Движущая сила г. см. сек	Твердый расход, г. м. сек
Докритическая — 5—3 и менее	0,00585—0,01625	3—12
Начальная метелевая — 6—8	0,03060—0,04160	20—50
Оптимальная метелевая — 9—14	0,05265—0,12740	60—250
Экстремальная — более 15	0,14625 и выше	Более 250

Когда скорость ветра в подкроновом ярусе у поверхности снега превышает оптимальную и ТРМ больше 250 г·м·сек, шлейфы почти не образуются, так как из снеговетрового потока твердой фазы выпадает очень мало. В этих случаях наблюдается даже сдувание ранее отложившегося снега. Характерно, что у полос с малой ажурностью подкронового просвета (20—10%) и при экстремальной скорости отлагаются крутые сугробы, чего не бывает у более редких полос. Следовательно, чтобы на межполосных полях снег откладывался наиболее равномерно, скорость ветра при выходе из подкронового просвета должна снижаться до уровня оптимальной метелевой. На юге Сибири и севере Казахстана сильные низовые метели наблюдаются при скорости в открытой степи 15—20 м/сек и более. При таких ветрах отлагается основная масса снежных шлейфов у лесополос. Это значит, что для наиболее равномерного отложения снега на межполосных клетках скорость ветра в подкроновом ярусе должна быть снижена в среднем на 5—7 м/сек, или на 30—35%.

Ветросъемки показывают, что при угле атаки ветра 90—70% этого можно достигнуть с помощью таких лесополос, у которых подкроновый просвет в безлистном состоянии имеет ажурность около 60—70%. Именно за такими насаждениями формируются наиболее длинные и пологие шлейфы снега, накапливается его максимальный запас на каждом гектаре поля и наиболее высок УСЭ. Об этом говорят наши данные по Кулунде (рис. 3 и 4). Для расчета длины снежных шлейфов у полос нами получено уравнение.

$$L_{шл} = 0,1h_0 \sin \alpha v^2 \sqrt{l_0} + (2H:V\bar{v}) \text{ м,}$$

где h_0 — высота подкронового яруса, м;
 α — угол атаки снегометели;
 v — скорость ветра;
 i_0 — подкроновая ажурность, %;
 H — высота полосы, м.

Формула справедлива при $i \leq 80\%$; $v \geq 3$ м/сек.

Теперь возникает практический вопрос, как сконструировать лесополосу с заранее заданной оптимальной величиной подкронового просвета. Для этого воспользуемся теоремами теории вероятности. Независимо от прочих равных условий возможны три случая размещения проекций стволов деревьев полосы на вертикальном экране: полное наложение проекций (A_1), половинное (A_2) и отсутствие наложения (A_3). В каждом случае ажурность полос различна. Вероятность любого из этих событий

$$P(A_n) = 1 - q^3 = 1 - 0,667^3 = 0,704.$$

Приняв соответствующие обозначения, можно записать

$$i_0 = \left[lh_0 - \sum_1^{\infty} dh_0 P(A_n) : h_0 l \right] \cdot 100\%.$$

где i_0 — подкроновая ажурность полосы, %;
 h_0 — высота подкронового просвета, м;
 l — длина участка полосы м;
 n — число вариантов размещения проекций деревьев;
 d — диаметр стволов, м.

По этой формуле рассчитана табл. 3.

Таблица 3

К-личество рядов	Ажурность, %, при диаметре стволов на высоте 0,5 м, см									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	98	95	92	90	87	85	82	80	77	75
2	97	93	89	86	82	79	75	72	68	66
3	95	89	84	79	73	68	63	<u>58</u>	52	<u>48</u>
4	93	86	79	72	<u>65</u>	<u>58</u>	<u>51</u>	<u>44</u>	37	30
5	91	82	<u>73</u>	<u>65</u>	<u>56</u>	<u>47</u>	38	30	21	12
6	89	79	<u>68</u>	<u>58</u>	47	37	26	16	5	—
7	87	75	<u>65</u>	<u>51</u>	38	26	14	2	—	—
8	85	72	<u>58</u>	44	30	16	2	—	—	—
9	83	<u>58</u>	53	37	21	5	—	—	—	—
10	81	<u>55</u>	48	30	12	—	—	—	—	—
11	79	<u>61</u>	43	23	3	—	—	—	—	—

Примечание. Подчеркнуты оптимальные и близкие к ним значения ажурности. Расстояние в рядах 2 м.

Зная ход роста деревьев по диаметру стволов, по табл. 3 нетрудно установить закономерность изменения i_0 в насаждениях различного возраста.

Как было отмечено ранее, важный конструктивный параметр насаждений — высота кронового просвета. Согласно наблюдениям и положениям механики снежных метелей, высота снега в полосах 60—80 см оптимальна; в этом случае шлейфы наиболее длинные и на 1 га отлагается максимальный объем снега. Высота снега 60—80 см в сухой степи создает хороший водный режим почвы под насаждениями,

благодаря чему деревья благополучно переносят даже сильную засуху. При указанной высоте снега в полосах подкроновый просвет должен иметь высоту 0,9—1 м, чтобы рабочее окно не достигало кроны. Для метелистых зим такая высота подкронового яруса снегораспределительных полос оптимальна. Больше поднятие кроны, по-видимому, не отразится существенно на снегораспределительных свойствах насаждений, но вызовет дополнительные затраты на подчистку стволов.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. А. К. Дюнин. Механика метелей. Новосибирск, 1963. [2]. А. Е. Дяченко, Н. Т. Макарычев. Дефляция почв и агролесомелиоративные мероприятия в Северном Казахстане. М., 1959.

Поступила 24 октября 1973 г.

УДК 634.0.232.33

ДИНАМИКА ПОЯВЛЕНИЯ ВСХОДОВ В ПОСЕВАХ СОСНЫ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ

Л. А. КАЗАКОВ

Институт леса Карельского филиала АН СССР

Результаты изучения температуры и влажности почвы в разных лесорастительных условиях в течение двух сезонов показали, что в первой половине лета на Кольском полуострове не создается благоприятных условий для прорастания семян, масса всходов появляется во второй половине лета. Часть семян прорастает только на второй год. Лучшие условия для прорастания создаются на узких полосах.

Агротехника создания лесных культур на Кольском полуострове изучена недостаточно, что является одной из причин низкой эффективности лесовосстановительных мероприятий.

Особенно важно изучить влияние специфических климатических условий короткого вегетационного периода, продолжающегося в среднем 117 дней для центральной климатической зоны полуострова [2], на появление всходов и успешность культур в фазе приживания.

Мы проследили за динамикой появления всходов в первый и второй годы на участках опытных механизированных посевов, выполненных в 1970 и 1971 гг. лесокультурным агрегатом ЛА-2 на вырубках из-под сосняков черничного, лишайникового, а в 1971 г., кроме того, на паловой вырубке из-под сосняка лишайникового. Участки расположены в западной части Терского лесхоза. Почву обрабатывали полосами шириной около 10 см (узкие), 30 см (средние) и 50 см (широкие). Такая ширина обработки была достигнута реконструкцией почвообрабатывающих органов применяемого агрегата.

Для посева в 1970 г. применяли семена третьего, а в 1971 г. первого класса сортности из КАССР (из-за отсутствия урожая местных семян). Норму высева устанавливали из расчета 0,8 кг для первого и 1,5 кг для третьего класса на 1 га; число посевных мест 4 тыс. на 1 га на кустарничково-зеленомошной вырубке и 6 тыс. на лишайниковой и лишайниково-паловой вырубках.

Всходы учитывали в год посева через 6—7 дней, а на второй год через 15—20 дней. В каждом варианте обработки почвы было выбрано до появления всходов по 30 учетных посевных мест, расположенных в однородных микроусловиях. В дни учетов одновременно наблюдали за

температурой почвы на глубине 1—2 см на широких и узких полосах, определяли влажность слоя почвы.

В опытах 1970 г. первые всходы появились на 11—12-й день на лишайниковой вырубке, на 13—14-й день — на кустарничково-зеленомошной; в опытах 1971 г. — также на 11—13-й день на всех участках. На большинство учетных посевных мест всходы появлялись до конца августа. Массовое прорастание семян происходит в последней декаде июля — первой декаде августа. В посевах 1970 г. к 1 августа насчитывалось около 90% общего количества всходов, появившихся в первый год. В посевах 1971 г. на лишайниковой и паловой вырубках наибольшее число сеянцев появилось в первой и второй декадах августа, а на кустарничково-зеленомошной — в последней декаде июля.

Наиболее интенсивное накопление всходов отмечено на узких полосах на лишайниковой вырубке, на узких и средних — на кустарничково-зеленомошной и паловой вырубках. Прорастание семян закончилось раньше на широких полосах. Более низкая грунтовая всхожесть семян отмечена на широких и средних полосах, на них же был больший процент (до 20—23) пустых посевных мест.

Температура почвы на глубине заделки семян в 13 час. не поднималась выше 25° и постоянно была на 2—3° выше в полосах на лишайниковой вырубке, чем на кустарничково-зеленомошной, и на обеих вырубках выше на широких полосах, чем на узких. Разница в температуре на широких и узких полосах значительнее на кустарничково-зеленомошной вырубке. Разница в температуре почвы на разных вырубках и полосах хорошо выражена до конца августа. Позднее она исчезает, менее заметна также при пасмурной погоде (табл. 1, замеры на 13 час.).

Уже с середины июля температура почвы достаточно благоприятна для прорастания семян и развития корневой системы, так как известно, что минимумом для прорастания семян является +7—8° [4], а интенсивный рост корней начинается при температуре +9° [3].

Однако сильное нагревание почвы в конце июня — начале июля приводит к быстрому иссушению поверхностного слоя и задерживает появление всходов. Удлинение периода прорастания может вызвать снижение всхожести, так как семена загнивают.

Среднесуточная температура воздуха (по данным метеостанции Умба) в 1970 г. к 24 июня достигла 15° и до конца второй декады августа не опускалась ниже 10°. В 1971 г. среднесуточная температура только к 1 июля достигла 10° и не опускалась ниже до половины сентября. При теплой погоде всходы появлялись и в сентябре. На паловой вырубке, например, в этот месяц их количество увеличилось на 10%. Наиболее высокая температура воздуха (среднесуточная выше 15°) наблюдалась в 1970 г. с 20 июля по 20 августа, а в 1971 г. с 21 июля по 10 августа. Это соответствует среднегодовым данным для центральной климатической зоны полуострова [5].

На появление всходов большое влияние оказывает частота выпадения и характер осадков. Для первой половины лета характерны ливни, которые чередуются с продолжительными засушливыми периодами. После таких осадков поверхностный слой быстро высыхает. В годы наблюдений были периоды по 12 дней без дождя и без росы, а первые обложные осадки выпали в 1970 г. — 15 июля, а в 1971 г. — 12 июля. В наших опытах вскоре после выпадения этих осадков началось массовое появление всходов.

Влажность почвы к августу увеличилась вдвое. Если в июне 1970 г. на третий день после посева влажность поверхностного слоя почвы в среднем была меньше 10%, в начале июля поднялась до 10%, то в

Таблица 1

Дата наблюдений в 1970 г.	Температура почвы на глубине 1 см на вырубке		Дата наблюдений в 1971 г.	Температура почвы на глубине 1 см на вырубке		
	лишайниковой	кустарничково-зеленомошной		лишайниковой	кустарничково-зеленомошной	паловой
17/VI	$\frac{12,5}{17,2}$	$\frac{15,0}{9,8}$	13/VII	$\frac{18,0}{20,5}$	$\frac{13,5}{12,5}$	$\frac{18,4}{20,8}$
19/VI	$\frac{12,6}{12,7}$	$\frac{11,8}{13,3}$	15/VII	$\frac{12,2}{12,6}$	$\frac{11,1}{11,5}$	$\frac{15,3}{12,2}$
25/VI	$\frac{21,9}{21,6}$	$\frac{21,0}{24,9}$	22/VII	$\frac{19,5}{21,5}$	$\frac{15,1}{15,5}$	$\frac{21,0}{23,5}$
3/VII	$\frac{23,9}{24,6}$	$\frac{20,5}{24,4}$	3/VIII	$\frac{16,6}{22,6}$	$\frac{15,1}{16,4}$	$\frac{17,8}{20,5}$
9/VII	$\frac{20,1}{18,1}$	$\frac{17,6}{20,2}$	22/VIII	$\frac{18,0}{18,4}$	$\frac{17,1}{16,9}$	$\frac{18,1}{18,4}$
15/VII	$\frac{14,4}{14,5}$	$\frac{14,5}{15,4}$	6/IX	$\frac{8,5}{8,3}$	$\frac{8,7}{8,5}$	$\frac{9,1}{8,9}$
24/VII	$\frac{21,2}{22,1}$	$\frac{20,6}{20,9}$	Среднее	$\frac{15,4}{17,3}$	$\frac{13,4}{13,7}$	$\frac{16,6}{17,6}$
1/VIII	$\frac{22,4}{23,0}$	$\frac{20,2}{24,0}$				
8/VIII	$\frac{14,8}{15,2}$	$\frac{14,8}{14,9}$				
14/VIII	$\frac{16,6}{16,0}$	$\frac{15,7}{18,0}$				
21/VIII	$\frac{21,5}{21,7}$	$\frac{18,2}{24,0}$				
27/VIII	$\frac{10,6}{12,1}$	$\frac{10,3}{10,3}$				
Среднее	$\frac{17,7}{18,1}$	$\frac{16,6}{18,4}$				

Примечание. В числителе данные для узких полос; в знаменателе — для широких.

конец июля она повысилась до 13,2%, а 14 августа составляла 18% на лишайниковой вырубке и 19,4% на кустарничково-зеленомошной. Известно, что влажность почвы, обеспечивающая высокую грунтовую всхожесть и хорошее развитие проростков, находится в пределах 10—15% от веса абс. сухой почвы III.

Следовательно, в условиях Крайнего Севера до половины июля не создается благоприятных режимов температуры и влажности почвы для прорастания семян.

При учетах установлено, что на новых посевных местах прорастание заканчивалось к середине августа, хотя в ранее учтенных посевных местах всходы продолжали появляться и позже. Новые всходы появляются и на следующий год. За второй год их количество в учетных местах на лишайниковой вырубке увеличилось на 22,8%, а на кустарничково-зеленомошной — на 15%. На лишайниковой вырубке на второй год число посевных мест без всходов уменьшилось до 16%. Несмотря на отпад, общее число жизнеспособных семян к концу второ-

го сезона, хотя и незначительно, но увеличилось. Следовательно, новые всходы перекрывают отпад семян на второй год, и приживаемость культур в целом на участке не снижается.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. В. П. Баранова. Влияние различной влажности почвы на прорастание и развитие семян сосны и ели. Сборник ВНИИЛМ, вып. 50, 1965. [2]. И. Б. Белецкий. Плодоношение сосны на Кольском полуострове. Мурманское книжное изд-во, Мурманск, 1968. [3]. А. Я. Орлов, С. П. Кошельков. Почвенная экология сосны. Изд-во «Наука», 1971. [4]. Л. В. Попов, В. И. Шубин. Влияние лесной подстилки на температуру верхнего слоя почвы. Известия СО АН СССР, Новосибирское книжное изд-во, 1958. [5]. Б. А. Яковлев. Климат Мурманской области. Мурманское книжное изд-во, Мурманск, 1961.

Поступила 9 марта 1973 г.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 634.0.0.372

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ НАГРУЗКИ
НА ВЫНОСЛИВОСТЬ НЕСУЩИХ КАНАТОВ
ПОДВЕСНЫХ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК***Н. М. БЕЛАЯ, А. Г. ПРОХОРЕНКО*

Львовский лесотехнический институт

Установлено, что одним из главных факторов, определяющих сроки службы несущих канатов, является величина давления на каток грузовой каретки. С уменьшением поперечной нагрузки выносливость несущих канатов резко возрастает. Приняв при проектировании подвесных установок в качестве исходного параметра требуемый срок службы несущего каната, можно создать такую конструкцию ходовых частей, при которой работоспособность каната будет полностью использована.

Важный резерв повышения экономической эффективности канатного транспорта леса — интенсификация работы, которая может быть достигнута в результате повышения скорости движения грузового потока, либо увеличения веса грузов, транспортируемых отдельными каретками.

Обе эти возможности, в первую очередь, зависят от того, насколько удачно решен вопрос о создании благоприятных условий для совместной работы контактирующей пары несущий канат — каток грузовой каретки.

При изготовлении грузовой каретки, прежде всего, решается вопрос о том, какое давление на каток допускается и какое может быть принято при проектировании с тем, чтобы выносливость каната и катков при этом была максимальной для установки данной конструкции.

Срок службы несущих канатов определяется рядом конструктивных и эксплуатационных факторов. Основные из них — величина и характер распределения поперечной нагрузки, передаваемой канату грузовой кареткой. От давления на каток грузовой каретки зависят изгибные и контактные напряжения, возникающие в материале каната. Исследования показали, что чем выше эти напряжения, тем меньше выносливость канатов, при прочих равных условиях.

При составлении ГОСТа на подвесные канатные установки возник вопрос о регламентировании величины давления на каток грузовой каретки, для обеспечения наиболее благоприятных условий работы несущих канатов и ходовых частей.

Несмотря на достаточно большой опыт эксплуатации подвесных канатных дорог, пока нет убедительных данных для обоснования выбора величины давления на каток. Имеются рекомендации проф. А. И. Дукельского для катков закрытого типа [5] и результаты исследования выносливости несущих канатов, полученные авторами за последние годы [1] — [4], [6], [7]. Конкретно задача о влиянии поперечной нагрузки на выносливость прядевых канатов, применяемых в качестве несущих на подвесных лесотранспортных установках, до сего времени не рассматривалась.

В настоящей статье приводятся результаты исследования влияния полной V , кГ и условной (удельной) $q = \frac{V}{F}$ кГ/мм^2 поперечных нагрузок на выносливость несущих канатов (в тысячах проходов) ГОСТ 3070—55, ГОСТ 3077—55, ГОСТ 2688—69 $d = 25,0 \div 25,5$ мм и опытных канатов $d = 24$ мм типа ЛК конструкции 18X (4+8) + 12 (4+8) + 1ос и $d = 30$ мм типа ЛК конструкции 18X (4+8) + 12 (4+8) + 6 (4+8) + 1ос. Диапазон изменения натяжений T принимали от 12 до 20 T . Испытания проводили с минимальной интенсивностью [3] на горизонтальных пробных машинах (величина хода грузовой каретки $l = 1200$ мм) с широким диапазоном изменения поперечной нагрузки: $0,5 \leq V \leq 2,1 T$, что соответствует значениям $1 \leq q \leq 6$ кГ/мм^2 . Чтобы исключить влияние зон перекрытия напряжений изгиба, канаты испытывали под действием одного катка $D = 170$ мм. Катки применяли стальные с твердостью $H_B = 210 \div 230$ и $H_{RC} \approx 50$.

Первые опыты показали, что на поверхности обода катков при твердости $H_B = 220$ наблюдается рифление в виде отскоков прядей каната. Показатели выносливости испытываемых канатов при прочих равных условиях получились весьма неустойчивыми. Это послужило основанием для перехода к каткам из стали 45 с закаленными ободами, имеющими твердость $H_{RC} = 50 \div 55$.

Все канаты испытывали при минимальной интенсивности нагружения (минимальном числе проходов каретки по канату в единицу време-

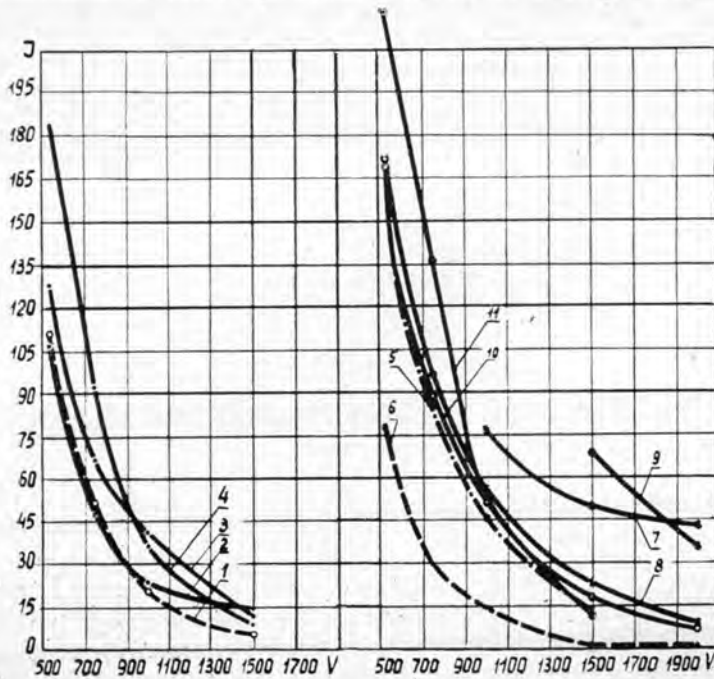


Рис. 1. График зависимости выносливости канатов от поперечной нагрузки.

1 — канат 25-Н-180-В ГОСТ 3077—55; $T = 12 T$, $H_B = 220$; 2 — канат 25,5-Г-В-СС-Н-160 ГОСТ 268869, $T = 12,0 T$, $H_{RC} = 50$; 3 — то же, $T = 16,0 T$, $H_{RC} = 50$; 4 — то же, $T = 20,0 T$, $H_{RC} = 50$. Остальные кривые приведены для опытного каната: 5 — $d = 24$ мм, $T = 12 T$, $H_{RC} = 50$; 6 — $d = 24$ мм, $T = 12 T$, $H_{RC} = 50$; 7 — $d = 30$ мм, $T = 19 T$, $H_B = 220$; 8 — $d = 30$ мм, $T = 19 T$, $H_{RC} = 50$; 9 — $d = 30$ мм, $T = 15 T$, $H_B = 220$; 10 — $d = 30$ мм, $T = 15 T$, $H_{RC} = 50$; 11 — $d = 30$ мм, $T = 12 T$, $H_{RC} = 50$.

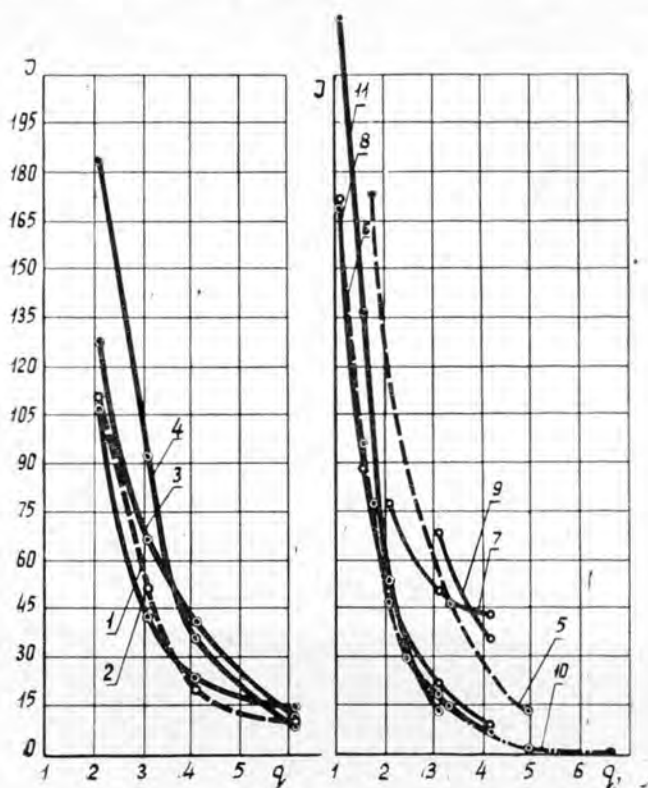


Рис. 2. График зависимости выносливости канатов от удельной поперечной нагрузки. Обозначения см. под рис. 1

ни). Соблюдалось также условие постоянства температуры каната в процессе испытаний с тем, чтобы не изменялись силы трения, действующие между проволоками каната.

По данным испытаний построены графики зависимости выносливости несущих канатов от поперечной нагрузки. Они показаны на рис. 1 — $I = f(V)$ и на рис. 2 — $I = f(q)$. Из них следует, что величина поперечной нагрузки оказывает решающее влияние на срок службы канатов. Для всех испытанных типов канатов это влияние почти одинаково, поэтому отмеченную зависимость можно распространить на канаты и других типов.

Очевидно, реализация больших давлений на каток пружовой каретки и сокращение числа катков, имеющие цель уменьшить металлоемкость каретки, при существующих конструкциях канатов экономически нецелесообразны. Более эффективным следует считать снижение V путем увеличения числа катков. Видимо, наиболее приемлема величина удельной поперечной нагрузки в диапазоне $1 \leq q \leq 2 \text{ кг/мм}^2$, что соответствует рекомендациям проф. А. И. Дукельского для кабельных кранов и канатных дорог постоянного действия. По нашим данным, снижение удельного поперечного давления в 2 раза (в этом пределе) повышает срок службы каната примерно в 3—4 раза.

Для анализа приведенных на графиках зависимостей и их привязки к условиям работы существующих канатных систем удобно все кривые, приведенные на рис. 1 и 2, разделить на три зоны.

I зона характеризуется малыми поперечными нагрузками ($500 \leq V \leq 900$ кг и $1 \leq q \leq 2,5$ кг/мм²) и отличается резким повышением выносливости канатов всех типов при уменьшении поперечной нагрузки. Такие условия работы следует рекомендовать для подвесных установок большой длины, когда стоимость несущего каната составляет большую часть стоимости всех установок.

Ко II зоне относятся участки графиков со средними значениями поперечной нагрузки: $900 \leq V \leq 1200$ кг и $2,5 \leq q \leq 3,5$ кг/мм². Такие условия могут считаться приемлемыми для работы несущих канатов полуподвесных установок и погрузочно-разгрузочных устройств.

III зона отличается наименьшими поперечными нагрузками: $1300 \leq V \leq 2000$ кг и $3,5 \leq q \leq 6,0$ кг/мм² и минимальной выносливостью каната. Такие условия могут быть допущены для несущих канатов кабельных кранов и подвесных установок небольшой длины с небольшими сроками действия, имеющих сравнительно простые по конструкции грузовые каретки и канаты закрытой конструкции. На лесных складах для кабельных кранов с прядевыми канатами открытого типа лучше рекомендовать меньшую поперечную нагрузку q , чтобы она не превышала 3,5 кг/мм².

Приведенные здесь и опубликованные ранее [2]—[4], [6], [7] результаты исследований позволяют заключить, что сроки службы несущих канатов могут изменяться в зависимости от заданных режимов работы. Приняв за исходную характеристику требуемый по условию работы срок службы несущего каната, при проектировании канатной оснастки и подборе навесного оборудования можно обеспечить соблюдение всех остальных конструктивных параметров и эксплуатационных характеристик, которые оказывают решающее влияние на работу каната и общий срок службы канатной установки. При проектировании грузовых кареток, в зависимости от условий работы каретной канатной установки, можно пользоваться приведенными выше рекомендациями по выбору V и q .

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. М. Белая. Исследование работы подвесных канатных лесотранспортных установок и перспективы их развития и совершенствования. Сб. «Проблемы комплексных лесных предприятий в Карпатах», изд-во «Карпаты», Ужгород, 1969. [2]. Н. М. Белая. Выбор канатов подвесных лесотранспортных установок и определение запасов их прочности. Труды ЦНИИМЭ «Вопросы механизации горных лесозаготовок», 118, Химки, 1971. [3]. Н. М. Белая, А. Г. Прохоренко. О влиянии режимов работы пробных машин на показатели долговечности канатов. Сб. «Стальные канаты», № 9, изд-во «Техника», Київ, 1972. [4]. Н. М. Белая, А. Г. Прохоренко, Э. Н. Матвеев. До обґрунтування запасів міцності несучих канатів підвісних лісотранспортних установок. Сб. «Лісова паперова і деревообробна промисловість», № 9, вид-во «Будівельник», Київ, 1972. [5]. А. И. Дукельский. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. Изд-во «Машиностроение», М.—Л., 1966. [6]. А. Г. Прохоренко. Исследование выносливости несущих канатов открытого типа двойной свивки. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 4, 1969. [7]. А. Г. Прохоренко. Пути повышения сроков службы несущих канатов подвесных лесотранспортных установок. Сб. «Лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность», № 7, изд-во «Будівельник», Київ, 1970.

Поступила 15 августа 1973 г.

УДК 62-26 : 634.0.3

О ВИБРАЦИОННОМ РАЗВАЛЕ ПАКЕТА БРЕВЕН

В. В. АНДРОНОВ

Московский лесотехнический институт

Исследуется вопрос о вибрационном развале пакета бревен. Вводится понятие «простейшего» пакета, который рассматривается в качестве модели реального пакета бревен. Изучено действие на простейший пакет гармонических колебаний, направленных вертикально либо горизонтально поперек или вдоль оси пакета. Для двух случаев построены области развала. Отмечается наибольшая эффективность продольной вибрации пакета.

Для ряда технологических процессов в лесной промышленности часто требуется предварительно «развалить» пакет лесоматериалов (бревен, хлыстов), получив однорядную щель. Один из эффективных способов достижения этой цели основан на применении вибраций.

Процесс вибрационного расседоточения уже рассматривался [5]. Некоторые соображения о действии вибраций на пакет бревен приведены в книге Г. А. Вильке [4]. Наша работа имеет целью дальнейшее развитие этого вопроса.

Пакет бревен или хлыстов в общем случае представляет сложную механическую систему, состоящую из большого числа отдельных тел. Изучение состояния такой системы под действием приложенных сил, основанное на составлении и анализе уравнений движения или равновесия каждого из тел системы, в большинстве случаев связано с непреодолимыми трудностями. Например, при изучении равновесия пакета система уравнений равновесия является, как правило, статически неопределенной. По этой причине приходится с самого начала отказаться от рассмотрения общего случая реальной системы и ограничиться изучением подходящей модели — «простейшего» пакета бревен.

Бревна будем считать одинаковыми круглыми цилиндрами. Всякую зовокупность бревен, соприкасающихся друг с другом и параллельно

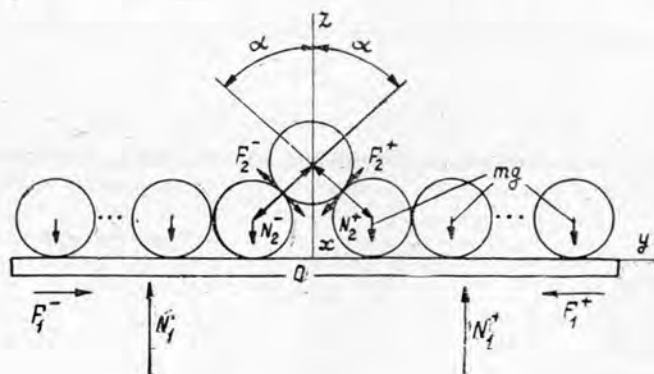


Рис. 1.

расположенных, будем называть пакетом. Простейшим назовем такой двухслойный пакет, у которого в верхнем ряду находится только одно бревно. Примем еще, что между бревнами и горизонтальной плоской опорой, а также между бревнами действует кулоново сухое трение. Соответствующие коэффициенты трения f_1 и f_2 .

На рис. 1 показано поперечное сечение простейшего пакета и силы, действующие в нем при отсутствии вибрации основания. Здесь же обозначены направления координатных осей (ось x перпендикулярна плоскости чертежа).

Буквой s обозначим число бревен в том из двух нижних рядов пакета, где их меньше, и выясним вначале, при каких условиях простейший пакет может находиться в покое на неподвижной опоре. Составим уравнения равновесия. Если учесть вытекающие из условий симметрии равенства $N_2^- = N_2^+ = N_2$ и $F_2^- = F_2^+ = F_2$, для верхнего бревна остается только уравнение проекций сил на вертикаль (ось z).

$$2N_2 \cos \alpha + 2F_2 \sin \alpha = mg, \quad (1)$$

где α — угол между вертикалью и линиями центров сечений верхнего и соприкасающихся с ним нижних бревен;

mg — вес одного бревна;

$N_2^-, N_2^+, F_2^-, F_2^+$ — равнодействующие равномерно распределенных нормальных сил и сил трения между верхним бревном и нижними опорными бревнами.

Здесь и далее индексы «минус» или «плюс» указывают на принадлежность соответствующей величины к частям пакета с меньшим либо большим числом бревен. На рис. 1 для определенности принято, что меньшее число бревен имеет нижний левый ряд, поэтому, очевидно, достаточно рассмотреть равновесие этого ряда. Соответствующие формулы имеют вид

$$N_2 \sin \alpha - F_2 \cos \alpha - F_1^- = 0; \quad (2)$$

$$N_1^- - smg - N_2 \cos \alpha - F_2 \sin \alpha = 0. \quad (3)$$

В этих уравнениях величины N_1^-, F_1^- означают равнодействующие нормальных реакций и сил трения, действующих на нижний левый ряд со стороны опоры. Они получены при существенном предположении о том, что нарушение равновесия может произойти только путем скольжения бревен.

К уравнениям (1) — (3) добавим неравенства

$$F_2 \leq f_2 N_2, \quad (4)$$

$$F_1^- \leq f_1 N_1^-, \quad (5)$$

вытекающие из закона трения, и полученную систему уравнений решим относительно угла α

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(2s+1)f_1 + f_2}{1 - (2s+1)f_1 f_2}. \quad (6)$$

Неравенство (6) является условием равновесия пакета на горизонтальной плоской неподвижной опоре, а интервал

$$0 \leq \alpha \leq \operatorname{arctg} \frac{(2s+1)f_1 + f_2}{1 - (2s+1)f_1 f_2} = \alpha^* \quad (7)$$

— областью равновесия простейшего пакета. Интервал $\alpha^* \leq \alpha < 90$, наоборот, можно назвать областью развала пакета, ибо равновесие при

этом невозможно, и пакет самопроизвольно разваливается, то есть движется с одновременным опусканием центра тяжести.

В формуле (7) для большей общности принято, что угол α может принимать значения и меньше 30° (вплоть до нуля), то есть предполагается, что опорные нижние бревна могут как бы заходить друг на друга.

Из формул (6) и (7) следует, что при $(2s+1) f_1 f_2 \rightarrow 1$ угол $\alpha \rightarrow 90^\circ$. Равновесие становится возможным при любых углах α от 0 до 90° . Это же сохраняется и при условии $(2s+1) f_1 f_2 > 1$, когда формула (6) уже несправедлива. При этом всем точкам области соответствует допредельное равновесие.

На рис. 2 показаны области равновесия простейшего пакета на неподвижном основании, построенные с помощью формулы (7). Им отвечают части плоскости параметров α , f_1 , расположенные ниже соответствующих кривых. Кривые построены при $s = 1$ и следующих соотношениях между коэффициентами трения: $f_1 = 0,5f_2$ (кривая 1), $f_1 = f_2$ (кривая 2), $f_1 = 2f_2$ (кривая 3). Кривая 4 построена для случая $f_2 = 0$.

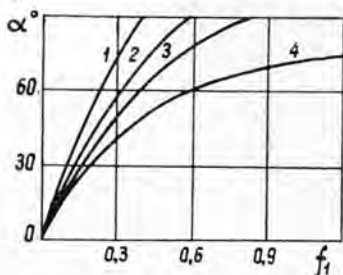


Рис. 2.

Следует заметить, что пакет может не развалиться даже при условии идеальной гладкости опоры. Действительно, полагая в формуле (7) $f_1 = 0$, найдем область равновесия пакета на гладкой опоре:

$$0 \leq \alpha \leq \arctg f_2. \quad (8)$$

Отсюда напрашивается вывод о повышенной устойчивости пакетов, структура (взаимное расположение бревен) которых удовлетворяет условию (8).

Теперь рассмотрим равновесие пакета на вибрирующем основании. Пусть опорная платформа совершает поступательные прямолинейные колебания по закону $s_1 = A \sin \omega t$, которые могут иметь как вертикальное, так и горизонтальное направление. В последнем случае колебания могут происходить вдоль оси пакета (продольные) или поперек (поперечные). Найдем область равновесия пакета относительно платформы.

Из законов динамики следует, что на тела, находящиеся на ускоренно движущихся (в частности, вибрирующих) основаниях, действуют дополнительные силы, которых нет в случае неподвижного основания. В данном случае это переносная сила инерции. Именно ее действием объясняется факт, что покоящийся на неподвижной плоскости пакет может развалиться, если плоскость привести в колебательное движение.

Для понимания механизма развала пакета при вибрациях существенное значение имеет эффект кажущегося перехода сухого трения в вязкое (линеаризация сухого трения). Рассмотрим одно бревно, свободно лежащее на шероховатом основании и нагруженное посередине некоторой постоянной силой T , действующей перпендикулярно оси бревна в горизонтальной плоскости (рис. 3). Легко видеть, что при от-

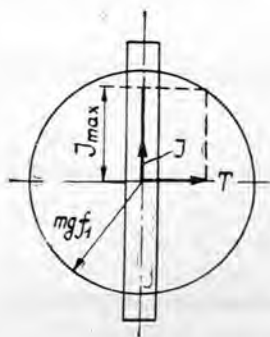


Рис. 3.

существовании вибрации скольжение бревна из состояния покоя возможно только при условии $T > mg f_1$. (Здесь, как и выше, принято, что нарушение равновесия происходит путем скольжения, а не качения). При наличии колебаний основания к действующим силам добавляется переносная сила инерции $I = mA \omega^2 \sin \omega t$ которая, складываясь с силой T , благоприятствует выходу бревна из состояния равновесия. На рис. 3, где показан случай продольных колебаний, величина $I_{max} = mA \omega^2$ есть амплитудное (наибольшее) значение переменной силы инерции, а окружность радиусом $mg f_1$ представляет годограф предельной силы трения покоя. Как видно из рис. 3, движение бревна из состояния покоя в данном случае происходит при условии

$$\sqrt{T^2 + (mA\omega^2)^2} > mgf_1.$$

Для наименьшего значения силы T , выводящей бревно из состояния относительного покоя, получаем

$$T = mg \sqrt{f_1^2 - \delta^2}, \quad \delta = \frac{A \omega^2}{g}. \quad (9)$$

Отсюда следует, что при $\delta \rightarrow f_1$ сила T стремится к нулю, то есть для приведения бревна в движение оказывается достаточным действие сколь угодно малой силы T . Этот эффект уменьшения посредством вибрации силы T , выводящей тело из состояния покоя, и получил название линеаризации сухого трения. Он сохраняется и при условии $\delta > f_1$, а также при других направлениях колебаний. Действием этого эффекта объясняется существование еще ряда вибрационных процессов и явлений, поэтому он изучен достаточно хорошо [1] — [3].

Обратимся снова к простейшему пакету и рассмотрим случай вертикальных колебаний основания. Составив уравнения относительного равновесия и решив их относительно угла α , снова приходим к формуле (6). Отсюда следует, что вертикальные колебания основания не изменяют область равновесия простейшего пакета.

При горизонтальных колебаниях перпендикулярно оси пакета формула для области равновесия имеет вид

$$0 \leq \alpha \leq \arctg \frac{(2s+1)(f_1 - \delta) + f_2}{1 - (2s+1)(f_1 - \delta)f_2}. \quad (10)$$

В отличие от предыдущего случая действие вибраций здесь существенно сказывается на области равновесия: она может быть уменьшена до размеров, определяемых формулой (8). Однако практическое значение формулы (10) ограничено, ибо предположение о потере равновесия скольжением, использованное при ее выводе, здесь не может быть применимо.

Пусть теперь колебания параллельны оси пакета. Задача при этом будет уже пространственной, и условия равновесия простейшего пакета на платформе запишутся так:

$$F_{2x}^2 + F_{2yz}^2 \leq (f_2 N_2)^2; \quad (11)$$

$$(F_{1x}^-)^2 + (F_{1y}^-)^2 \leq (f_1 N_1^-)^2; \quad (12)$$

$$(F_{1x}^+)^2 + (F_{1y}^+)^2 \leq (f_1 N_1^+)^2. \quad (13)$$

Индексами x , y и yz обозначены составляющие сил трения вдоль координатных осей x , y и в плоскости yz . Условия (11)—(13) означают, что не происходит скольжения ни по одной из плоскостей трения в пакете.

Не любое нарушение условий равновесия свидетельствует о начавшемся развале пакета. Например, если нарушены неравенства (12) и (13), а (11) выполняется, то пакет движется по платформе, как одно твердое тело, и развала не происходит. Если неравенство (11) нарушено, а (12) и (13) выполняются, то происходит периодическое проскальзывание верхнего бревна по неподвижным нижним, что также не означает развала. Следовательно, только совместное невыполнение условия (11) и хотя бы одного из условий (12), (13) будет означать развал пакета.

Выразим эти условия через параметры пакета α , f_1 , f_2 , s и параметры колебаний (A , ω). Составим уравнения относительного равновесия и найдем из них неизвестные, входящие в неравенства (11) — (13). Некоторые из этих уравнений независимые. Решая их, получаем

$$\left. \begin{aligned} F_{2x} &= \frac{1}{2} mA\omega^2; N_1^- = \frac{1}{2}(1+2s)mg; N_1^+ = \frac{1}{2}(1+2l)mg; \\ F_{1x}^- &= \frac{1}{2}(1+2s)mA\omega^2; F_{1x}^+ = \frac{1}{2}(1+2l)mA\omega^2, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где l — число бревен в том из нижних рядов пакета, где их больше.

Неизвестные N_2 , F_{2yz} , F_{1y}^- , F_{1y}^+ определяются по уравнениям

$$2N_2 \cos \alpha + 2F_{2yz} \sin \alpha = mg; \quad (15)$$

$$N_2 \sin \alpha - 2F_{2yz} \cos \alpha = F_{1y}^-; \quad (16)$$

$$F_{1y}^- = F_{1y}^+. \quad (17)$$

С помощью формул (14) и (17) можно показать, что из неравенств (12), (13) первое более слабое. Поэтому для решения задачи достаточно рассмотреть только уравнения (11), (12), (15) и (16). Исключая из них неизвестные N_2 , F_{2yz} и F_{1y}^- , получаем соотношение

$$\delta^2 + (\sin \alpha + k \cos \alpha)^2 - f_2^2 (\cos \alpha + k \sin \alpha)^2 \leq 0, \quad (18)$$

которое является условием равновесия пакета, выраженным через параметры системы. В этой формуле

$$k = (1+2s) \sqrt{f_1^2 - \delta^2}. \quad (19)$$

Неравенство противоположного знака, наоборот, будет определять условие движения пакета. При этом наименьшее значение параметра вибрации δ , при котором равновесие пакета сменяется движением, находится как наименьший корень уравнения

$$\delta^2 + (\sin \alpha - k \cos \alpha)^2 - f_2^2 (\cos \alpha + k \sin \alpha)^2 = 0. \quad (20)$$

Выясним, какие корни уравнения (20) соответствуют развалу. Пусть $\delta = \delta^*$ — наименьший корень уравнения (20). Если $\delta^* = f_1$, то соответствующее нарушение равновесия означает движение пакета как одного твердого тела. Развал при этом невозможен ни при каких значениях δ . Поэтому развал пакета связан с наличием у уравнения (20) наименьшего корня, удовлетворяющего условию

$$\delta^* < f_1. \quad (21)$$

Подставив в уравнение (20) значение $\delta = \delta^* = f_1$, приходим к соотношению

$$\sin^2 \alpha = \frac{f_2^2 - f_1^2}{1 + f_2^2}. \quad (22)$$

При выполнении этого соотношения между параметрами пакета развал невозможен, ибо уравнение (20) имеет в качестве корня величину f_1 . Если принять во внимание уравнение (18), то нетрудно установить, что развал невозможен в целой области значений угла α , определяемой неравенствами

$$0 \leq \alpha \leq \arcsin \sqrt{\frac{f_2^2 - f_1^2}{1 + f_2^2}}. \quad (23)$$

В остальной части области значений угла α , то есть при условии

$$\arcsin \sqrt{\frac{f_2^2 - f_1^2}{1 + f_2^2}} < \alpha < 90^\circ, \quad (24)$$

пакет может быть развален полностью.

Из формулы (22) следует также, что сказанное относится только к случаю, когда выполняется соотношение $f_1 \leq f_2$. Если же справедливо

$$f_1 > f_2, \quad (25)$$

то соотношение (22) не выполняется ни при каких действительных значениях угла α . В этом случае развал становится возможным при любых значениях α .

Неравенство (25) — необходимое условие развала. При выполнении обратного неравенства и в случае равенства таким условием будет соотношение (24). Достаточное условие состоит в выполнении требования

$$\delta > \delta^{**}, \quad (26)$$

означающего, что уровень вибрации, определяемый параметром δ , должен превышать некоторый минимальный уровень δ^{**} .

Остановимся на определении величины δ^{**} . Из предыдущего анализа задачи ясно, что когда нарушение равновесия пакета связано с развалом, то величина δ^{**} совпадает с δ^* и находится, следовательно, как наименьший корень уравнения (20), меньший f_1 . Этой ситуации отвечают все случаи нарушения равновесия, кроме $\delta^* = f_1$, реализующиеся при условии $f_1 \leq f_2$, и также случаи, имеющие место при $f_1 > f_2$, для которых наименьший корень уравнения (20) удовлетворяет условию

$$\delta^* \leq \frac{f_2}{\cos \alpha}. \quad (27)$$

При выполнении неравенства

$$\delta^* > \frac{f_2}{\cos \alpha} \quad (28)$$

и условия (25) между верхними и нижними бревнами наблюдается проскальзывание, и уравнение (20), не учитывающее этого обстоятельства, становится неприемлемым.

Для того чтобы найти значения δ^{**} в данном случае, рассмотрим равновесие нижних рядов бревен при скользящем верхнем бревне. При этом, очевидно, достаточно ограничиться рассмотрением равновесия только ряда с меньшим числом бревен как менее устойчивого, что приводит к рассмотрению неравенства (12) в условиях, когда верхнее бревно скользит.

Из уравнений движения верхнего бревна

$$N_2 = \frac{mg}{2 \cos \alpha}; \quad F_{2x} = \frac{mg f_2}{2 \cos \alpha}.$$

Теперь легко найти и неизвестные, непосредственно входящие в неравенство (12):

$$F_{1x}^- = smA\omega^2 + F_{2x} = \frac{1}{2} mg \left(2s\delta + \frac{f_2}{\cos \alpha} \right);$$

$$F_{1y}^- = N \sin \alpha = \frac{1}{2} mg \operatorname{tg} \alpha; \quad N_1^- = smg + N \cos \alpha = \frac{1}{2} mg (2s + 1).$$

Подставляя их в неравенство (12), получаем условие равновесия нижних рядов пакета

$$\left(2s\delta + \frac{f_2}{\cos \alpha} \right)^2 + \operatorname{tg}^2 \alpha \leq (2s + 1)^2 f_1^2, \quad (29)$$

являющееся одновременно условием отсутствия развала. Неравенство

$$\left(2s\delta + \frac{f_2}{\cos \alpha} \right)^2 + \operatorname{tg}^2 \alpha > (2s + 1)^2 f_1^2, \quad (30)$$

наоборот, является условием наличия развала. При этом искомое минимальное значение параметра $\delta = \delta^{**}$, соответствующее развалу, будет определяться как ближайший справа к числу $\frac{f_2}{\cos \alpha}$ корень уравнения (30), в котором знак неравенства заменен знаком равенства, то есть уравнения

$$\left(2s\delta + \frac{f_2}{\cos \alpha} \right)^2 + \operatorname{tg}^2 \alpha = (2s + 1)^2 f_1^2. \quad (31)$$

В формуле (30) примем $\alpha = 0$. Тогда

$$2s\delta + f_2 > (2s + 1)f_1. \quad (32)$$

Из формулы (32) следует, что увеличением δ всегда можно добиться, чтобы условие развала пакета (30) удовлетворялось. Это обстоятельство дополнительно подтверждает полученный нами вывод, что при выполнении соотношения (25) развал возможен во всей области значений угла α .

Задавая различными значениями параметров пакета, с помощью полученных формул легко найти для каждого случая величину δ^{**} .

Таким образом можно определить совокупность значений параметров системы, при которых пакет разваливается, то есть области развала.

На рис. 4 показаны области развала простейшего пакета в плоскости параметров α и δ в случае продольных колебаний. При расчетах принято: $s = 1$; $f_1 = 0,5f_2 = 0,3$; $f_1 = 0,5f_2 = 1,0$; $f_1 = 2f_2 = 0,5$ (кривые 1, 2, 3, 4 соответственно). Как видно, кривые 1 и 2 отвечают случаю $f_1 < f_2$, кривые 3 и 4 — случаю $f_1 > f_2$. Отметим, что области развала располагаются выше и правее соответствующих кривых.

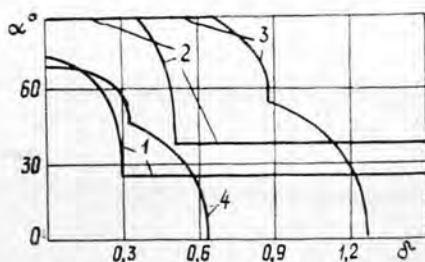


Рис. 4.

ЛИТЕРАТУРА¹

- [1]. В. В. Андронов. Об одном методе определения силы и коэффициента трения скольжения. Журн. «Машиноведение» № 3, 1970. [2]. В. В. Андронов. Движение тела по шероховатой наклонной плоскости, совершающей поступательные поперечные колебания в своей плоскости. Журн. «Механика твердого тела» № 3, 1972. [3]. И. И. Блехман, Г. Ю. Джанелидзе. Вибрационное перемещение. Изд-во «Наука», М., 1964. [4]. Г. А. Вильке. Автоматизация производственных процессов лесопромышленных предприятий. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1972. [5]. Б. А. Таубер, З. И. Карлинский, Е. А. Шекалов. Теоретическое и экспериментальное исследование вибрационного разбора пакета стволлов. Сб. «Вопросы теории и конструирования машин и механизмов», вып. 27, МЛТИ, М., 1969.

Поступила 24 января 1973 г.

УДК 634.0.371/375

О ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛОВОЗА ТУ-4 НА ПУТЬ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО СЛУЧАЙНЫМ ВЕРТИКАЛЬНЫМ НЕРОВНОСТЯМ

В. И. ЖАВИН, В. В. ЩЕЛКУНОВ, Г. А. КАЛИНИН, В. П. КУЗЬМИЧЕВ

Архангельский лесотехнический институт

Изложен метод расчета колебаний железнодорожного подвижного состава при движении по случайным вертикальным неровностям. Теория случайных функций не используется. Дан пример расчета динамических сил, приложенных от колеса к рельсу, для реальных профилей. Выяснена зависимость динамических добавок от скорости движения и жесткости пути для стыковых и сварных рельсов.

Изучение колебаний и силовых воздействий подвижного состава при движении по пути со случайными неровностями — одна из важных проблем железнодорожного транспорта. Только исходя из фактических неровностей могут быть оценены действительные усилия и ускорения частей подвижного состава. Для исследования колебаний подвижной нагрузки в указанной постановке обычно используется теория случайных функций.

Опыт решения задач на базе статистического подхода показывает, что последний имеет существенные ограничения [9]. Предлагается решать систему дифференциальных уравнений численным методом Рунге — Кутта на ЭЦВМ. Входная функция (неровности пути) вводится в память машины по данным непосредственных измерений.

На кафедре сухопутного транспорта АЛТИ накоплен достаточно большой материал по изучению вертикальных неровностей рельсов узкоколейных лесовозных железных дорог. На Конецгорской и Нью-

Таблица 1

№ участка	Длина рельсов, м	Число шпал на звене 8 м	Земляное полотно	Среднее квадратическое отклонение вертикальных неровностей, мм		Превышение правого рельса над левым	
				левая нить	правая нить	х, мм	S, мм
1	8	13—15	Насыпь 0,8—1,0 м	13,8	13,7	5,3	10,8
2	40	13—14	Выемка 2—3 м	28,1	27,0	1,8	8,3

Примечание. Рельсы Р24, балласт песчаный с примесью гравия.

ской дорогах заложено семь опытных участков на прямых в плане: три длиной по 250 м и четыре — по 500 м. Вертикальные неровности измеряли по обоим рельсовым нитям через 1 м с точностью 1 мм. Для расчета выбраны два участка на Конецгорской дороге. Характеристика участков приведена в табл. 1.

Система дифференциальных уравнений вертикальной динамики железнодорожного подвижного состава приводится во многих работах ([1]; [4]—[8] и др.). Принимаем расчетную схему со следующими допущениями. Кузов, рамы тележек, колесные пары считаются абсолютно жесткими телами. Путь равноупругий, диссипативные свойства его не учитываются*. Прогиб рессор пропорционален статическим нагрузкам, а упругие элементы деформируются только вдоль вертикальных осей. Галопирование тележек не учитывается.

Система дифференциальных уравнений, описывающих вертикальные колебания в продольной и поперечной плоскостях, имеет вид:

$$m\ddot{Z}_1 = 2K_p(h_1 - Z_1) + 2C[Z_n - Z_1 - (b_0 + b_1)\beta] + 2\mu[\dot{Z}_n - \dot{Z}_1 - (b_0 + b_1)\dot{\beta}];$$

$$m\ddot{Z}_2 = 2K_p(h_2 - Z_2) + 2C[Z_n - Z_2 - (b_0 - b_1)\beta] + 2\mu[\dot{Z}_n - \dot{Z}_2 - (b_0 - b_1)\dot{\beta}]$$

$$m\ddot{Z}_3 = 2K_p(h_3 - Z_3) + 2C[Z_n - Z_3 + (b_0 - b_1)\beta] + 2\mu[\dot{Z}_n - \dot{Z}_3 + (b_0 - b_1)\dot{\beta}];$$

$$m\ddot{Z}_4 = 2K_p(h_4 - Z_4) + 2C[Z_n - Z_4 + (b_0 + b_1)\beta] + 2\mu[\dot{Z}_n - \dot{Z}_4 + (b_0 + b_1)\dot{\beta}];$$

$$m_n\ddot{Z}_n = 2C[Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 - 4Z_n] + 2\mu[\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 + \dot{Z}_4 - 4\dot{Z}_n];$$

$$m_n\rho_{yn}^2\ddot{\beta} = 2C[(b_0 + b_1)(Z_4 - Z_1) + (b_0 - b_1)(Z_3 - Z_2) - 2(b_0 + b_1^2)\beta] + 2\mu[(b_0 + b_1)(\dot{Z}_4 - \dot{Z}_1) + (b_0 - b_1)(\dot{Z}_3 - \dot{Z}_2) - 2(b_0^2 - b_1^2)\dot{\beta}];$$

$$m\rho_x^2\ddot{\varphi}_1 = 2Cd^2(\varphi_n - \varphi_1) + 2\mu d^2(\dot{\varphi}_n - \dot{\varphi}_1) + 2K_p a(h_{1n} - h_{1л} - 2a\varphi_1);$$

$$m\rho_x^2\ddot{\varphi}_2 = 2Cd^2(\varphi_n - \varphi_2) + 2\mu d^2(\dot{\varphi}_n - \dot{\varphi}_2) + 2K_p a(h_{2n} - h_{2л} - 2a\varphi_2);$$

$$m\rho_x^2\ddot{\varphi}_3 = 2Cd^2(\varphi_n - \varphi_3) + 2\mu d^2(\dot{\varphi}_n - \dot{\varphi}_3) + 2K_p a(h_{3n} - h_{3л} - 2a\varphi_3);$$

$$m\rho_x^2\ddot{\varphi}_4 = 2Cd^2(\varphi_n - \varphi_4) + 2\mu d^2(\dot{\varphi}_n - \dot{\varphi}_4) + 2K_p a(h_{4n} - h_{4л} - 2a\varphi_4);$$

$$m_n\rho_{xn}^2\ddot{\varphi}_n = 2Cd^2(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 - 4\varphi_n) + 2\mu d^2(\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_3 + \dot{\varphi}_4 - 4\dot{\varphi}_n),$$

здесь

$$h_j = \frac{h_{jn} + h_{jл}}{2}; \quad j = 1, 2, 3, 4,$$

Динамические усилия от колес на рельсы

$$S_{jn} = K_p(h_{jn} - Z_j - a\varphi_j)$$

и

$$S_{jл} = K_p(h_{jл} - Z_j + a\varphi_j).$$

* Предлагаемый метод позволяет легко учесть неравнопрочность основания и меняющиеся по длине диссипативные свойства. Однако для введения их в систему необходимы экспериментальные материалы, отсутствующие для узкоколейных дорог.

В уравнениях обозначено:

- m, m_n — массы колесной пары с редуктором и наддресорного строения;
 ρ_x, ρ_{xn} — радиусы инерции массы колесной пары и наддресорного строения относительно продольной оси;
 ρ_{yn} — радиус инерции массы наддресорного строения относительно поперечной оси;
 C — жесткость рессорного комплекта;
 μ — коэффициент вязкого трения демпфера;
 K_p — жесткость рельса;
 $2b_0$ — расстояние между шкворнями тележек;
 $2b_1$ — база тележки;
 $2d$ — расстояние между рессорными комплектами;
 $2a$ — расстояние между осями головок рельсов;
 Z_j, Z_n — вертикальные перемещения центров j -той колесной пары и наддресорного строения;
 β — угол галопирования наддресорного строения;
 φ_j, φ_n — угол боковой качки j -той колесной пары и наддресорного строения;
 $h_{jn}, h_{jл}$ — ординаты вертикальных неровностей рельсовых нитей под правым и левым колесами j -той колесной пары.

Все размеры взяты паспортные или вычислены по чертежам тепловоза. Скорости для расчета приняты 20, 30 и 40 км/час, а жесткость рельсов Р24—8, 13,4 и 18,2 Т/см, соответственно модулям упругости рельсового основания $U = 40, 80$ и 120 кг/см².

Первые шесть уравнений системы описывают ее колебания только в продольной плоскости при условии равенства ординат поверхности рельса под правыми и левыми колесами ($h_j = \frac{h_{jn} + h_{jл}}{2}$). Последние пять уравнений определяют колебания системы в поперечной плоскости, когда $h_{jn} \neq h_{jл}$. Дифференциальные уравнения первой и второй частей взаимно независимы. Последнее объясняется симметрией тепловоза относительно продольной плоскости, проходящей через центр тяжести, а система уравнений колебаний в продольной плоскости составлена для центров тяжести колесных пар и наддресорного строения. Колебания частей колесных пар и кузова, не лежащих в продольной плоскости симметрии, определяются вертикальными перемещениями и боковой качкой.

Если старшие производные заменить вспомогательными неизвестными функциями, то система дифференциальных уравнений сводится к равносильной системе уравнений первого порядка. Это преобразование даст возможность использовать численное решение методом Рунге—Кутты. В отличие от других, этот метод позволяет получить информацию о последующей точке по данным, относящимся только к предыдущей точке.

Так как в данной системе определитель из коэффициентов при старших производных не равен нулю, то начальные условия могут быть заданы из чисто физических соображений [2]. Начальные значения всех неизвестных приняты в расчете нулевыми, а для переходного процесса выделен участок длиной 20 м, при общей длине 120 м*.

Рассматриваемая задача запрограммирована для ЭЦВМ «Минск-32» на алгоритмическом языке «АКИ». Расчетный шаг интегрирования принят 2 см. Вертикальные неровности в пределах двух экспе-

* Длина участка взята меньше с целью экономии машинного времени.

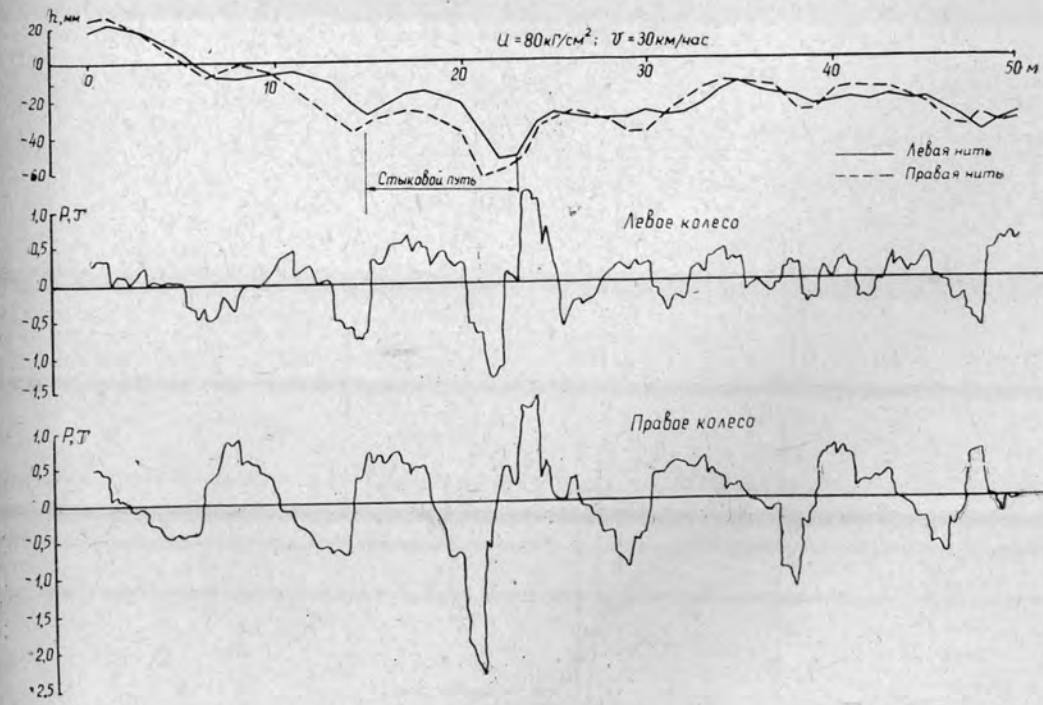
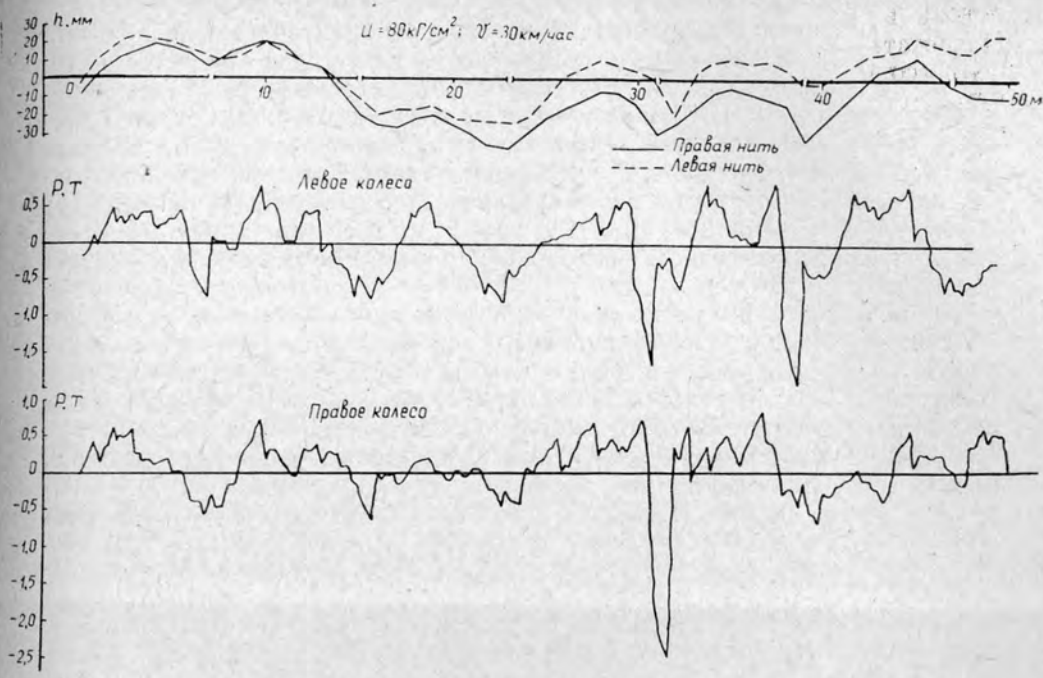


Рис. 2.

риментальных значений определяли линейной интерполяцией. Машинное время на один вариант — 25 мин.

Реализация программы дает сведения о характере движения тепловоза ТУ-4 при наличии случайных вертикальных неровностей пути. На печать выводили через интервал 0,2 м текущие значения ускорений подрессоренных масс, динамические силы, действующие от колес на путь, при учете колебаний только в продольной плоскости (первые шесть уравнений системы) и при наличии поперечных колебаний. Также по всей совокупности величин (при шаге интегрирования 0,02 м) вычисляли и выводили на печать в конце счета средние арифметические (по модулю), дисперсии и средние квадратические отклонения указанных переменных.

В качестве примера на рис. 1 приведены динамические силы, возникающие при проходе вертикальных неровностей второй по ходу колесной парой для участка № 1 (стыковой путь), на рис. 2 — третьей колесной парой для участка № 2 (сварные рельсы). Здесь же показаны профили вертикальных неровностей по обоим рельсовым нитям.

Анализ рисунков и аналогичных графиков для других исходных параметров показывает, что наибольшие динамические усилия возникают в зоне стыков. Даже при сварном пути на разделительных уча-

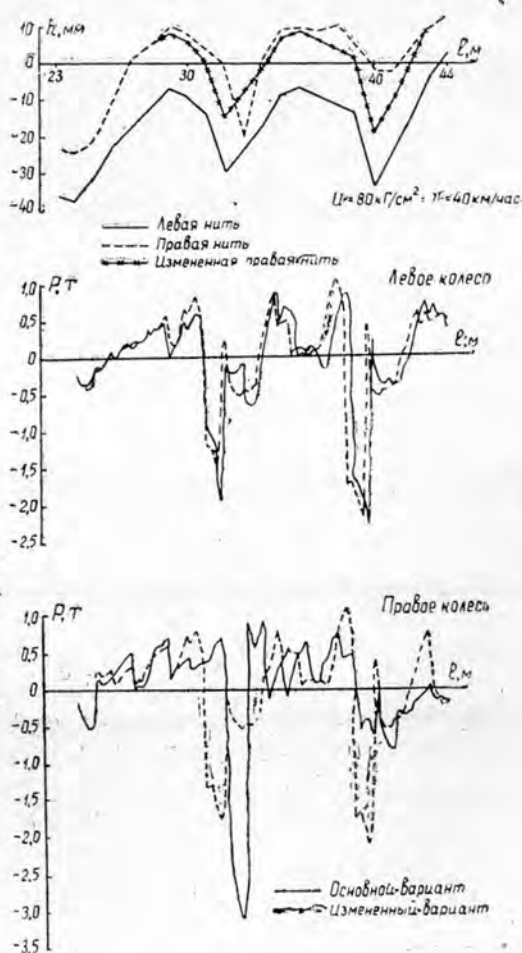


Рис. 3.

стках, где между 40-метровыми плетями уложены один—два рельсовых звена по 8 м, также наблюдаются значительные динамические силы.

При достаточно больших скоростях отрицательные усилия (разгрузка колес) превышают статическую нагрузку и движение становится опасным.

На участках с большим превышением рельсовой нити, как правило, совпадающих со стыками, возможно появление наибольших горизонтальных ускорений колесных пар [3].

Очевидно, что сочетание значительной разгрузки колесных пар с горизонтальными ускорениями увеличивает вероятность вползания колеса на рельс и потери устойчивости экипажа. Следовательно, скорость следует ограничивать не по прочности пути, а по устойчивости экипажа.

С целью выяснения влияния превышения одной рельсовой нити над другой выполнен сравнительный расчет динамических усилий для участка стыкового пути при скорости движения 40 км/час. На рис. 3 показано изменение динамических сил второй колесной пары тепловоза.

Видно, что назначение постоянного превышения в 15 мм хотя и существенно снижает разгружающую силу для одного из колес, но не обеспечивает полной безопасности движения. Отсюда следует, что необходимо нормировать не только превышение одной рельсовой нити над другой в прямых, но и уклоны вертикальных неровностей в продольном направлении.

Обобщенные данные по всем рассчитанным вариантам даны на рис. 4. Здесь приведена зависимость расчетных и максимальных значений (нормирующий множитель $\lambda = 2,5$) динамических давлений колес на рельсы от скорости движения и модуля упругости рельсового основания для стыкового и сварного путей.

На рис. 4, а показаны расчетные значения динамических усилий от колес, на рис. 4, б — то же, но при отсутствии поперечных колеба-

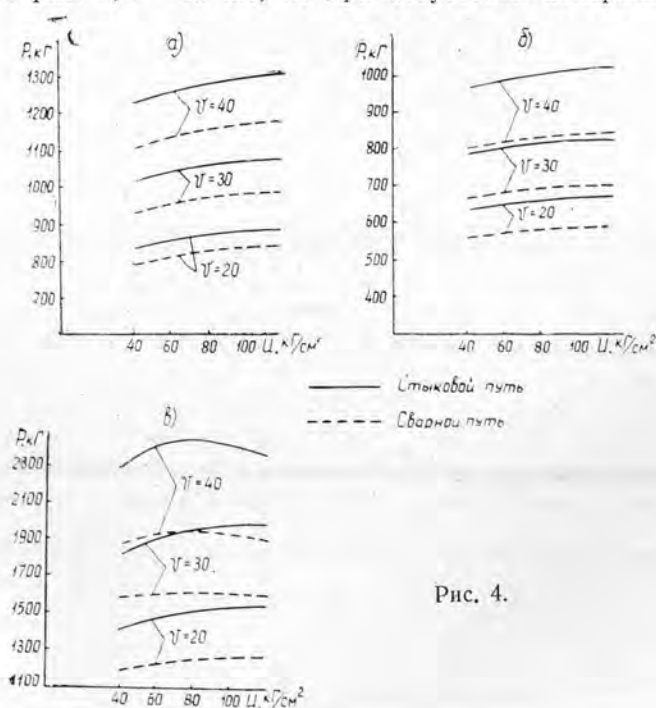


Рис. 4.

ний и на рис. 4, в — среднее из максимальных динамических давлений по совокупности отпечатанных чисел.

Во всех трех графиках выявляется существенное влияние длины рельсов на динамические усилия. Чем больше скорость, тем целесообразнее применение сварных рельсов.

Динамическое воздействие колес сильно возрастает с увеличением скорости. При скорости 40 км/час среднее из максимальных давлений на стыковом пути превышает статическую нагрузку и возникает опасность схода тепловоза с рельсов. При рассмотренном уровне вертикальных неровностей допустимая скорость тепловоза не должна превышать 25 км/час (стыковой путь). Сварной путь позволяет двигаться со скоростью 30—35 км/час.

С увеличением модуля упругости (в рассматриваемых пределах) динамическое воздействие возрастает, но весьма медленно. При скорости 40 км/час (рис. 3, в) наблюдается снижение уровня динамических сил, начиная с $U = 80 \text{ кг/см}^2$.

Способ решения задачи предлагаемым методом является детерминистическим, входная же переменная — функция случайная. В связи с этим результат оказывается неоднозначным, зависимым от начальных условий. Для вертикальной динамики решение мало зависит от начальных условий, так как рельсовые стыки, определяющие поведение системы, не случайное явление. При изучении же горизонтальной динамики рельсового подвижного состава начальные условия и длина участка переходного процесса могут заметно повлиять на результат расчета.

Предложенный в статье метод расчета позволяет с высокой точностью получать обширную информацию о колебаниях и воздействии подвижного состава при движении по случайным вертикальным неровностям.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Б. Г. Гастев, В. И. Мельников. Основы динамики лесовозного подвижного состава. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1967. [2]. Г. Деч. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования. Изд-во «Наука», М., 1971. [3]. В. И. Жабин. Боковое воздействие тепловоза ТУ-4 на путь в прямых. Труды АЛТИ, вып. XXXIII, Архангельск, 1972. [4]. И. Г. Ипатов, В. А. Камаев, Г. С. Михальченко. Расчетная схема и уравнения вертикальной динамики лесовозных вагонов-сцепов колеи 750 мм. Труды ЦНИИМЭ, 115, Химки, 1971. [5]. В. И. Козлов. Влияние некоторых факторов на вертикальные колебания тепловозов колеи 750 мм. Труды ЦНИИМЭ, 115, Химки, 1971. [6]. А. А. Львов, Л. Д. Грачева. Современные методы исследований динамики вагонов. Труды ВНИИЖТа, вып. 457, изд-во «Транспорт», М., 1972. [7]. А. А. Львов, Ю. С. Ромен, А. В. Кузнецов, О. П. Ершков и др. Динамика вагонов электропоездов ЭР22 и ЭР200 на тележках с пневматическим подвешиванием. Труды ВНИИЖТа, вып. 417, изд-во «Транспорт», М., 1970. [8]. Д. Ю. Почтарь. Обоснование расчетной схемы для исследования вертикальной динамики лесовозных тепловозов на АВМ. Труды ЦНИИМЭ, 115, Химки, 1971. [9]. В. В. Щелкунов, В. И. Жабин. О методах расчета колебаний автомобиля при движении по неровному пути. Материалы всесоюзной научной конференции, Минск, 1972.

Поступила 16 октября 1973 г.

УДК 634.0.375.4

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО РАССТОЯНИЯ ТРЕЛЕВКИ

В. А. УСПЕНСКИЙ

Воронежский лесотехнический институт

Ю. В. УСПЕНСКАЯ

Воронежский государственный университет

На основе критической оценки существующих способов определения среднего расстояния трелевки рекомендуются другие более простые и точные формулы. Показаны преимущества рекомендуемых формул для радиальной, диагональной и радиально-верной схем.

Большинство исследователей среднее расстояние трелевки определяли аналитическим путем. Наиболее полно эти расчеты выполнены М. В. Плаксиным [2].

Для всех схем расположения волоков, за исключением параллельно-перпендикулярной (рис. 1, III), формулы среднего расстояния до-

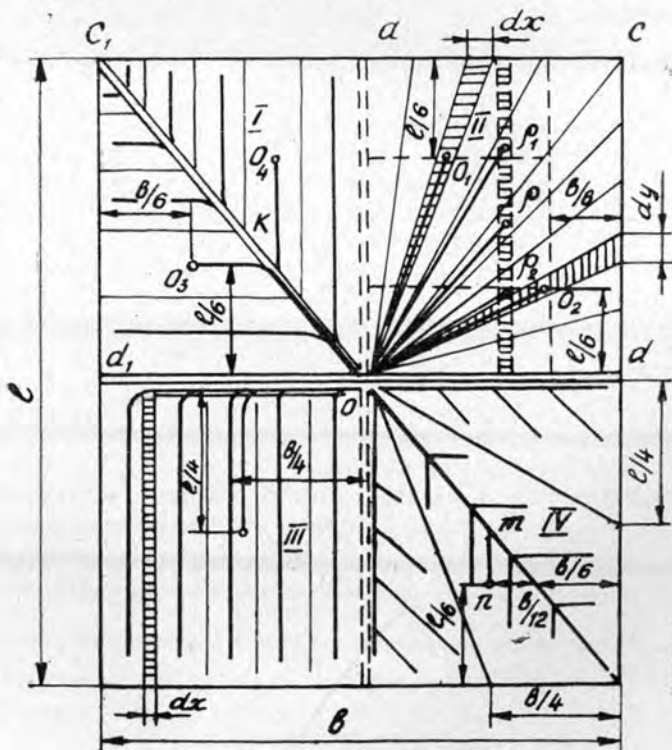


Рис. 1. Схемы расположения волоков.

I — диагональная; II — радиальная; III — параллельно-перпендикулярная; IV — радиально-верная.

вольно громоздки, и получить по ним точное значение среднего расстояния невозможно. Только для параллельно-перпендикулярной схемы это расстояние определяется точно по формуле в виде двучлена с одинаковыми коэффициентами при b (расстояние между складами) и l (расстояние между усами): $0,25 (b + l)$; коэффициент удлинения волоков здесь и далее опущен.

Все исследователи стремились упростить формулы по определению среднего расстояния трелевки и для других схем, представив их в виде двучленов. Однако при этом не были использованы в достаточной мере точные выражения, определяющие средние расстояния, и рекомендуемые для практического использования простейшие формулы установлены произвольно, путем подбора коэффициентов.

В стремлении упростить формулы, и очевидно, в целях лучшего запоминания их, большинство авторов коэффициент при l принимали равным 0,25 для всех типовых схем, что ничем не обосновано. Причем для большинства типовых схем (за исключением параллельно-перпендикулярной) коэффициенты при l и b были разными. Это объясняется тем, что большинство исследователей после вывода общих формул определяли среднее расстояние для оптимальной (квадратной) формы (при $b = l$) и получали простейшую формулу с одним коэффициентом, дающую достаточно точные результаты. Но в дальнейшем, принимая коэффициент при l для всех форм равным 0,25 (очевидно потому, что он имеет место в основной параллельно-перпендикулярной форме), стремились получить более или менее точное значение среднего расстояния трелевки для квадратной формы. Для этого коэффициент при b вычисляли как разность между общим коэффициентом при квадратной форме и коэффициентом при l , равным 0,25. Например, для радиальной и диагональной схем коэффициенты при b , принятые М. В. Плаксиным, соответственно равны 0,12 и 0,15, которые в сумме с коэффициентом при l (0,25) дают общеизвестные коэффициенты для квадратной формы указанных схем: 0,37 и 0,40.

Из представленной схемы видно, что если направление уса d_1 изменить на перпендикулярное ему (указано пунктиром), то величины b и l поменяются местами. Поскольку коэффициенты при них различны, то и среднее расстояние трелевки окажется другим, хотя, как ясно из рисунка, от перемены направления уса оно не меняется.

Авторы, выводившие формулы для определения среднего расстояния, очевидно, не обратили внимания на то, что при расчете зависимости непосредственно от величин b и l и центральном расположении склада величины b и l взаимозаменяемы, а следовательно, степень влияния их на среднее расстояние трелевки одинакова. Следовательно, во всех случаях коэффициенты при b и l должны быть одинаковы.

Это не было подмечено лишь потому, что все авторы вводили в расчеты искусственные величины, которые скрывали физический смысл формул. Так, М. В. Плаксин и другие исследователи вместо размерности b вводили величину $ql = b$, а В. Г. Кочегаровым [1] при определении средних расстояний вместо значения l принята $a = 0,5l$.

Для определения среднего расстояния трелевки нами получены следующие формулы:

для диагональной схемы

$$l_{cp} = \frac{b + l + 2\sqrt{b^2 + l^2}}{12}; \quad (1)$$

для радиально-веерной

$$l_{co} = \frac{b + l}{12} + \frac{\sqrt{b^2 + l^2}}{8} + \frac{\sqrt{2}(l + b)}{48}. \quad (2)$$

Если в формулу среднего расстояния трелевки для диагональной схемы [2] подставить b вместо ql , а величину a [1] заменить на $0,5 l$, получим формулу (1). (Формула для радиально-верной схемы в рассматриваемых работах отсутствует.) Нетрудно убедиться, что в приведенных формулах величины b и l взаимозаменяемы, то есть от перестановки их формулы не меняются.

Формула для определения среднего расстояния при радиальной схеме, выведенная М. В. Плаксиным, после замены ql на b имеет вид

$$l_{cp} = \frac{\sqrt{l^2 + 4b^2}}{8} + \frac{l^2}{16b} \ln \frac{2b + \sqrt{l^2 + 4b^2}}{l}. \quad (3)$$

Если в формуле среднего расстояния трелевки, приведенной в учебнике ЛТА [1] для указанной схемы, величину a заменить на $0,5 l$, то получим формулу, аналогичную формуле (3).

Как видно, в формуле (3) доля участия размеров секции различна. Это объясняется тем, что при выводе данной формулы М. В. Плаксин допустил неточность. Приняв элементарную площадку прямоугольной, среднее расстояние трелевки с этой площадки он приравнял расстоянию центра тяжести прямоугольника, направленному под острым углом к длине площадки по прямой ρO (рис. 1, II). Это расстояние не равняется среднему, так как все остальные точки элементарной площадки направлены к центру (точке O) под различными углами к длине площадки. Если рассмотреть две половинки этой площадки, то, согласно методике М. В. Плаксина, средние расстояния трелевки с этих площадок будут равны $\rho_1 O$ и $\rho_2 O$. Однако полусумма этих расстояний не равна ρO , поскольку, как известно, длина медианы не равна полусумме боковых сторон треугольника. Такое равенство имеет место лишь в случае, если угол при вершине треугольника (в точке O) равен нулю.

Для правильного вывода формулы среднего расстояния трелевки при радиальной схеме в качестве элементарных площадок мы приняли два треугольника, отдельно для треугольников acO и cdO (рис. 1, II). В этом случае направление трелевки центров тяжести элементарных треугольников совпадает с направлением всех точек этих треугольников.

В результате расчетов мы получили следующие формулы среднего расстояния трелевки для радиальной схемы: при выводе аналитическим путем

$$l_{cp} = \frac{\sqrt{b^2 + l^2}}{6} + \frac{b^2}{12l} \ln \frac{l + \sqrt{l^2 + b^2}}{b} + \frac{l^2}{12b} \ln \frac{b + \sqrt{b^2 + l^2}}{l}; \quad (4)$$

при выводе геометрическим путем

$$l_{cp} = \frac{\sqrt{l^2 + 4b^2} + \sqrt{b^2 + 4l^2}}{12}. \quad (4')$$

Как видно из приведенных формул, и при радиальной схеме влияние размеров секций на величину среднего расстояния также одинаково, так как они взаимозаменяемы. Вот почему ошибочно утверждение М. В. Плаксина, что коэффициент при l «во всех случаях равняется $0,25$ ».

Разница при определении среднего расстояния по формулам (3) и (4) невелика (табл. 1), но основной недостаток формулы (3) заключается в искажении физической сущности — доли участия размеров секции при определении среднего расстояния трелевки.

На рис. 1, III и IV представлены схемы определения среднего расстояния трелевки геометрическим путем соответственно для диагональ-

Размеры, км		Средние расстояния трелевки (l_{cp} км, в числителе, отклонение, %, в знаменателе) при радиальной схеме расположения волоков							
l	b	по формуле (4')	по формуле (4)	по формуле (3)	по формуле М. В. Плак- сия 0,25l + + 0,12b	по формуле В. Г. Коче- гарова 0,125l + 0,25b	рекомендуемые		
							0,20 (l+b)	0,195 (l+ +b)	0,19 (l+b)
0,5	0,1	0,129	$\frac{0,131}{+2}$	$\frac{0,129}{0}$	$\frac{0,137}{+6}$	$\frac{0,088}{-32}$	$\frac{0,120}{-7}$	$\frac{0,117}{-9}$	$\frac{0,114}{-11}$
			0,138	$\frac{0,141}{+2}$	$\frac{0,136}{-1}$	$\frac{0,149}{+8}$	$\frac{0,113}{-18}$	$\frac{0,140}{+1}$	$\frac{0,137}{-1}$
0,5	0,2	0,152	$\frac{0,155}{+2}$	$\frac{0,151}{-1}$	$\frac{0,162}{+7}$	$\frac{0,138}{-9}$	$\frac{0,160}{+5}$	$\frac{0,156}{+3}$	$\frac{0,152}{0}$
			0,168	$\frac{0,173}{+3}$	$\frac{0,166}{-1}$	$\frac{0,172}{+2}$	$\frac{0,163}{-3}$	$\frac{0,180}{+7}$	$\frac{0,175}{+4}$
0,5	0,3	0,187	$\frac{0,190}{+2}$	$\frac{0,186}{-1}$	$\frac{0,185}{-1}$	$\frac{0,188}{0}$	$\frac{0,200}{+7}$	$\frac{0,195}{+4}$	$\frac{0,190}{+2}$
			0,4	0,168	$\frac{0,173}{+3}$	$\frac{0,169}{-1}$	$\frac{0,160}{-5}$	$\frac{0,175}{+4}$	$\frac{0,180}{+7}$
0,5	0,4	0,187	$\frac{0,173}{+3}$	$\frac{0,169}{-1}$	$\frac{0,160}{-5}$	$\frac{0,175}{+4}$	$\frac{0,180}{+7}$	$\frac{0,175}{+4}$	$\frac{0,171}{+2}$
			0,5	0,168	$\frac{0,155}{+2}$	$\frac{0,153}{-1}$	$\frac{0,135}{-11}$	$\frac{0,162}{+7}$	$\frac{0,160}{+5}$
0,4	0,5	0,152	$\frac{0,141}{+2}$	$\frac{0,139}{-1}$	$\frac{0,110}{-20}$	$\frac{0,150}{+9}$	$\frac{0,140}{+1}$	$\frac{0,137}{-1}$	$\frac{0,133}{-4}$
			0,2	0,138	$\frac{0,131}{+2}$	$\frac{0,129}{0}$	$\frac{0,085}{-34}$	$\frac{0,138}{+7}$	$\frac{0,120}{-7}$
0,3	0,5	0,138	$\frac{0,131}{+2}$	$\frac{0,129}{0}$	$\frac{0,085}{-34}$	$\frac{0,138}{+7}$	$\frac{0,120}{-7}$	$\frac{0,117}{-9}$	$\frac{0,144}{-11}$
			0,1	0,129	$\frac{0,129}{+2}$	$\frac{0,129}{0}$	$\frac{0,085}{-34}$	$\frac{0,138}{+7}$	$\frac{0,120}{-7}$

Примечание. Отклонения исчислены по отношению к показателям формулы (4').

ной, параллельно-перпендикулярной и радиально-всевой схем. Геометрические расчеты значительно проще. Так, при диагональной схеме среднее расстояние определяется, согласно рис. 1, по формуле

$$l_{cp} = \frac{O_3k + O_4k + 2kO}{2}.$$

Произведя замены

$$O_3k = \frac{b}{6}; \quad O_4k = \frac{l}{6}; \quad kO = \sqrt{\left(\frac{l}{6}\right)^2 + \left(\frac{b}{6}\right)^2},$$

мы сразу получаем формулу (1).

Преимущество этого способа заключается также в возможности определения среднего расстояния трелевки для секций неправильных форм.

В связи с изложенным, мы предлагаем следующую формулу для определения среднего расстояния трелевки для схем с расположением верхнего склада в центре тяжести секции:

$$l_{cp} = K(l + b). \quad (5)$$

Коэффициент K следует брать равным половине величины коэффициента, получаемого при квадратной форме (или близким к нему). Лишь в случае передвижения склада от центра тяжести секции вдоль уса, что вызывается соображениями технологического порядка (при расположении погрузочных площадок по всему фронту уса, при трелевке валочно-трелевочными машинами и т. д.), среднее расстояние

следует дополнять за счет увеличения участия размера b . В этих случаях, как правило, l_{cp} необходимо увеличивать на $0,25b$.

Формула (5) имеет ряд преимуществ по сравнению с другими.

1. Отклонение значений средних расстояний при различных l и b от истинных значений невелико, так как доля участия каждого показателя одинакова, что удовлетворяет требованиям точных формул (1), (2), (4) и (4').

2. Отсутствует разница в средних расстояниях в зависимости от расположения уса, тогда как в упрощенных формулах другого вида эта разница имеет место, что является грубой ошибкой, особенно когда склады концентрированные и расположены в центрах тяжести секции.

3. По существующим формулам целесообразность применения секций квадратных форм могла быть доказана только для параллельно-перпендикулярной схемы. Формула (5) дает возможность доказать это для всех схем, имеющих симметричное расположение волоков.

4. Предлагаемые нами формулы просты и легко запоминаемы. В табл. 1—3 приведены расчеты среднего расстояния трелевки для трех основных схем по всем формулам при различных соотношениях размеров l и b .

Таблица 2

Размеры, км		Средние расстояния трелевки (l_{cp} , км, в числителе, отклонение, %, в знаменателе) при диагональной схеме расположения волоков					
l	b	по формуле (1)	по формуле М. В. Плаксина $0,25l + 0,15b$	по формуле Н. Н. Сиротова* $0,4b + 0,1l$	по формуле других авторов $0,25l + 0,16b$	рекомендуемые	
						0,20 ($l+b$)	0,21 ($l+b$)
0,5	0,1	0,135	$\frac{0,140}{+4}$	$\frac{0,090}{-33}$	$\frac{0,141}{+4}$	$\frac{0,120}{-11}$	$\frac{0,126}{-7}$
			0,5	0,2	0,147	$\frac{0,155}{+5}$	$\frac{0,130}{-13}$
0,5	0,3	0,163				$\frac{0,170}{+4}$	$\frac{0,170}{+4}$
			0,5	0,4	0,181	$\frac{0,185}{+2}$	$\frac{0,210}{+16}$
0,5	0,5	0,201				$\frac{0,200}{0}$	$\frac{0,250}{+24}$
			0,4	0,5	0,181	$\frac{0,175}{-3}$	$\frac{0,240}{+33}$
0,3	0,5	0,163				$\frac{0,150}{-8}$	$\frac{0,230}{+41}$
			0,2	0,5	0,147	$\frac{0,125}{-15}$	$\frac{0,220}{+50}$
0,1	0,5	0,135				$\frac{0,100}{-27}$	$\frac{0,210}{+55}$

* Н. Н. Сиротов и др. Лесозаготовка. М., 1972. Отклонения исчислены по отношению к показателю формулы (1).

Если в формулах разных авторов отклонения от действительных значений средних расстояний трелевки достигают 20—34%, а в некоторых случаях 40—59%, то в наших формулах возможен подбор коэффициентов, при котором отклонение от действительного среднего расстояния не будет превышать 5—7%.

Таблица 3

Размеры, мм		Средние расстояния трелевки ($l_{ср}$, мм, в числителе, отклонение, % в знаменателе) при радиально-веерной схеме расположения волоков			
l	b	по формуле (2)	по формуле Н. Н. Сиротова $0,4b + 0,1l$	рекомендуемые	
				0,20 (l + b)	0,21 (l + b)
0,5	0,1	0,132	0,090	0,120	0,126
			-32	-9	-5
0,5	0,2	0,146	0,130	0,140	0,147
			-11	-4	+1
0,5	0,3	0,163	0,170	0,160	0,168
			+4	-2	+3
0,5	0,4	0,181	0,210	0,180	0,189
			+16	-1	+4
0,5	0,5	0,201	0,250	0,200	0,210
			+24	0	+5
0,4	0,5	0,181	0,240	0,180	0,189
			+33	-1	+4
0,3	0,5	0,163	0,230	0,160	0,168
			+41	-2	+3
0,2	0,5	0,146	0,220	0,140	0,147
			+51	-4	+1
0,1	0,5	0,132	0,210	0,120	0,126
			+59	-9	-5

Примечание. Рекомендуемые в табл. 2 и 3 формулы с коэффициентом 0,2 совпадают с формулами В. И. Кочегарова после подстановки в них основных размеров секций. Отклонения исчислены по отношению к показателям формулы (2).

При определении среднего расстояния трелевки недопустимы грубые ошибки, поскольку в этом случае искажаются показатели производительности и др. Точность определения среднего расстояния трелевки имеет особое значение при расчетах оптимальных размеров лесосек. В перспективе предполагается увеличение расстояний трелевки, причем время, затрачиваемое на транспортные операции, будет значительно превышать время на формирование в связи с внедрением клещевых захватов на трелевочных тракторах. Последнее обстоятельство также подчеркивает необходимость получения более достоверных показателей при определении средних расстояний трелевки.

При необходимости можно методом приближения определить среднее расстояние трелевки с ошибкой, не превышающей 2—3%.

Для расчетов, не требующих большой точности, рекомендуются следующие коэффициенты: для радиальной схемы — 0,195; для диагональной — 0,21; для радиально-веерной — 0,20. При указанных коэффициентах отклонение от действительных значений для радиальной схемы составляет 9% лишь при крайних соотношениях размерностей. Для остальных схем ошибка не превышает 5%, так как практически при отношении $l : b = 5$ эти схемы заменяются параллельно-перпендикулярной.

ЛИТЕРАТУРА

[2]. В. Г. Кочегаров и др. Технология и машины лесосечных и лесовосстановительных работ. М., 1970. [2]. Е. А. Овсянников, М. В. Плаксин. Технология лесоразработок, Львов, 1962.

Поступила 18 июня 1973 г.

УДК 621.43-44

О РАСХОДЕ ТОПЛИВА УЗКОКОЛЕЙНЫМИ ТЕПЛОВОЗАМИ ПРИ «СМЕШАННОЙ» РАБОТЕ

А. В. ДУРОВ

Архангельский лесотехнический институт

Излагается расчетно-экспериментальный метод оценки топливной экономичности узкоколейных тепловозов при выполнении «смешанной» работы. Разработанная методика использована для нормирования расхода топлива тепловозами МД54, ТУ6, ТУ4, ТУ5 и позволила получить результаты, достаточно близкие к опытным данным.

Для лесовозных УЖД, в отличие от дорог широкой колеи МПС, тепловозы, кроме «чистой» поездной и маневровой работы, нередко используются на «смешанной» работе, включающей прямую вывозку с выполнением маневровых работ на ветках и усах, а также на нижнем складе. Теоретический расчет энергозатрат при этом виде перевозок чрезвычайно труден.

В статье излагается расчетно-экспериментальный метод оценки топливной экономичности тепловозов при выполнении смешанной работы, основанный на использовании средних расходов топлива на поездной вывозке и маневрах, а также процента времени использования тепловоза на этих видах работ.

Средний расход топлива на выполнение смешанной работы $G_{см}$ (кг/ч) складывается из расходов топлива на поездную $G_{пз}$ и маневровую работу, выполняемую на ветках и усах $G_{м.в}$ и на нижнем складе $G_{м.н}$ пропорционально затраченному времени,

$$G_{см} = (G_{пз} \cdot a_{пз} + G_{м.в} \cdot a_{м.в} + G_{м.н} \cdot a_{м.н}) \cdot K_t, \quad (1)$$

где $a_{пз}$, $a_{м.в}$, $a_{м.н}$ — относительное время на выполнение тепловозом поездной и маневровой работы на ветках и усах и на нижнем складе;

$$a_{пз} = \frac{t_{пз}}{t}; \quad a_{м.в} = \frac{t_{м.в}}{t}; \quad a_{м.н} = \frac{t_{м.н}}{t};$$

$t_{пз}$, $t_{м.в}$, $t_{м.н}$ — время, соответствующее этим видам работы тепловоза;

K_t — температурный коэффициент;

t — общая продолжительность выполнения смешанной работы.

Из уравнения следует, что чем большую долю времени $a_{пз}$ тепловоз используется на поездной вывозке и чем меньшую на маневровой, тем больше $G_{см}$. Величины $a_{пз}$, $a_{м.в}$, $a_{м.н}$ устанавливаются на основании отчетных данных предприятий в зависимости от принятой организации работ по перевозкам.

Основной измеритель эксплуатационной топливной экономичности при чистой поездной работе тепловоза — расход топлива, отнесенный к 10^4 ткм транспортной работы. Если поездная вывозка является составной частью смешанной работы, то расход топлива ($кг/ч$) при движении по реальному профилю (учитывая, что резервные пробеги в основном имеют место на площадках) можно определить по формуле

$$G_{пз} = G_x \cdot a_x + G_p \cdot a_p + G_n \cdot a_n \cdot K_{in} + G_r \cdot a_r \cdot K_{ir}, \quad (2)$$

где a_x, a_p, a_n, a_r — относительное время работы дизеля на холостом ходу на стоянках, пробеге тепловоза резервом и движении с порожним и груженым составом;

$$a_x = \frac{t_x}{t_{пз}}; \quad a_p = \frac{t_p}{t_{пз}}; \quad a_n = \frac{t_n}{t_{пз}}; \quad a_r = \frac{t_r}{t_{пз}};$$

t_x, t_p, t_n, t_r — время, соответствующее этим режимам работы;
 G_x, G_p, G_n, G_r — расход топлива при работе дизеля на холостом ходу на стоянках, при пробеге тепловоза резервом, движении с порожним и груженым составом по прямому горизонтальному участку пути;

K_{in}, K_{ir} — коэффициенты, учитывающие трудность профиля участка пути при движении порожнего и груженого состава.

В соответствии с энергозатратами на отдельных технологических операциях поездной вывозки и принятыми измерителями эксплуатационной топливной экономичности уравнение (2) примет вид

$$G_{пз} = G_x \cdot a_x + \frac{n_p \cdot v_p}{100} \cdot a_p + 10^{-4} (n_n \cdot Q_n \cdot v_n \cdot a_n \cdot K_{in} + n_r \cdot Q_r \cdot v_r \cdot a_r \cdot K_{ir}), \quad (3)$$

где n_p — расход топлива при пробеге тепловоза резервом, $кг/100$ км;

v_p, v_n, v_r — средняя техническая скорость движения при пробеге тепловоза резервом, движении поезда с порожним и груженым составом;

Q_n, Q_r — средний вес брутто (без учета веса тепловоза) порожнего и груженого составов, т;

n_n, n_r — расход топлива при движении порожнего и груженого состава по прямому горизонтальному пути и $K_t = 1$, $кг/10^4$ ткм.

Уравнения (1) и (3) учитывают важнейшие факторы, влияющие на топливную экономичность тепловоза при смешанной работе: вес поезда Q , скорость движения v , трудность профиля пути K_t , время использования тепловоза на разных видах ($a_{пз}, a_{м.п}, a_{м.в}$) и режимах (a_x, a_p, a_n, a_r) работы, энергозатраты ($G_x, n_p, n_n, n_r, G_{м.п}, G_{м.в}$), а также температурные условия (K_t).

Величины, входящие в уравнения (1) и (3), определялись сотрудниками кафедры тяговых машин АЛТИ* в леспромхозах Архангельской (Верховский, Подюжский, Костылевский, Орleckий, Северодвинский, Лавельский) и Кировской (Мурашинский) областей в летний и осенний периоды ($t_b = 5-20^\circ C$) для тепловозов, снабженных механической (МД54, ТУ6) и гидромеханической (ТУ4) силовыми переда-

* В проведении опытов и обработке материала принимали участие О. Д. Орленко, Ю. Н. Красильников, Б. К. Микитюк.

чами с использованием вагонов-сцепов ЦНИИМЭ—АВЗ, снабженных буксовыми подшипниками скольжения. Для тепловоза ТУ6 данные эксплуатационных поездок были проверены на стенде АЛТИ. Характеристика использованной измерительной аппаратуры приведена в работе [3].

На основании хронометражных наблюдений для всех серий тепловозов получены следующие осредненные величины: $a_n = 0,15$; $a_p = 0,05$; $a_n = a_r = 0,4$, которые и были приняты в расчетах.

Значения G_x в уравнении (3) устанавливали по характеристикам холостого хода $G_x = f(n)$ (при $n = 1000$ об/мин) [4]. Расход топлива G_p определяли при $v = 10$ км/ч по графикам $G_p = f(v)$ [6].

Очевидно, что значения Q_n и Q_r , а также v_n и v_r , от которых зависят расходы топлива G_n и G_r , могут изменяться в зависимости от условий эксплуатации тепловозов. Поэтому расчеты выполнены для некоторых осредненных значений этих величин, наиболее характерных для тепловозов данной серии и полученных на основании анализа статистических данных для ряда лесовозных дорог. Расходы топлива n_n и n_r устанавливали по графикам $n_n = f(Q, v)$, приведенным в теплотехнических паспортах тепловозов [1], [7], [5].

Методика определения величин $G_{м.н}$ и $G_{м.в}$, входящих в уравнение (1), дана нами ранее [2]. Опытами установлено, что нормы расхода топлива при маневрах должны быть дифференцированы для нижнего склада, а также веток и усов. У последних, как правило, более трудный профиль, меньшие радиусы кривых, худшее состояние пути и, следовательно, повышенное сопротивление движению, что приводит к увеличению расхода топлива.

Коэффициенты K_{i_n} и K_{i_r} в уравнении (3) подсчитывали по формуле [1]

$$K_i = 1 + \frac{i_g}{\omega_0}.$$

Анализ характеристик профиля ряда лесовозных дорог показал, что осредненная величина эквивалентного уклона для грузового и порожнего направлений составляет $i_g = 2\%$, которая и была принята в качестве расчетной. Величину основного удельного сопротивления движению поезда определяли по графикам $\omega_0 = f(v)$ в соответствии с серией тепловоза и типом прицепного состава. Результаты вычислений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Серия тепловоза	Марка дизеля	N_e , л. с.	$G_{м.н}$, кг/ч	$G_{м.в}$, кг/ч	Q_n , Т	Q_r	v , км/ч	$G_{пз}$, кг/ч
МД54	Д-54А	54	4,5	6	25	75	12	8
ТУ6	АМ-41	90	5,5	7,5	35	100	15	10
ТУ6А	ЯАЗ-М204А	120	6	8	35	100	15	10,5
ТУ4	У1Д6-250ТК	250	8,5	11	50	125	20	14
ТУ5	1Д42-400	400	11	14	75	150	20	22

По данным таблицы на рис. 1 построен график зависимости $G_{пз} = f(N_e)$. Обработка данных показала, что значения $G_{пз}$ при $N_e = 50-400$ л. с. вполне удовлетворительно располагаются на одной общей прямой, отвечающей уравнению

$$G_{пз} = 6 + 0,0137N_e \text{ кг/ч.} \quad (4)$$

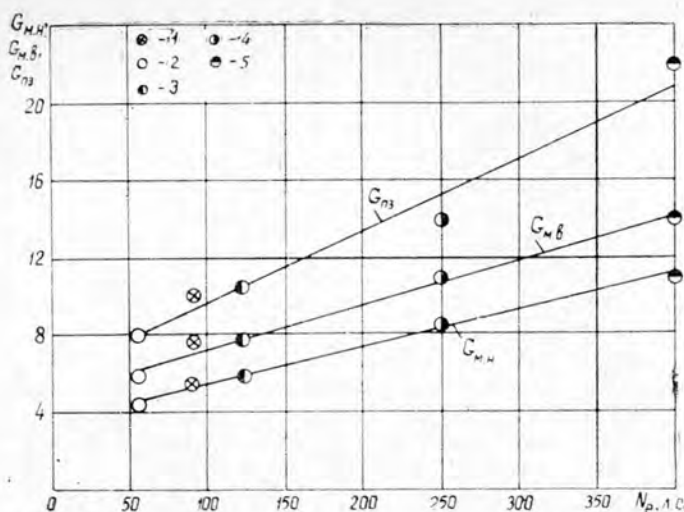


Рис. 1. Зависимость среднего часового расхода топлива тепловозами при поездной и маневровой работе от мощности дизелей.

1 — ТУ6 (АМ-41); 2 — МД54 (Д-54); 3 — ТУ6А (ЯЛЗ-М204А); 4 — ТУ4 (У1Д6-250ТК); 5 — ТУ5 (1Д12-400).

Здесь же приведены графики зависимостей $G_{м.н.} = f(N_e)$ и $G_{м.в.} = f(N_e)$, построенные по данным табл. 1 и при $N_e = 50-400$ л.с. с достаточной для практических целей точностью отвечающие уравнениям [2]:

для нижнего склада

$$G_{м.н.} = 3,6 + 0,019N_e \text{ кг/ч}; \quad (5)$$

для веток и усов

$$G_{м.в.} = 5 + 0,023N_e \text{ кг/ч}, \quad (6)$$

Результаты расчетов, выполненных по данным опытных поездок (табл. 1), сопоставлены со статистическими материалами, которые мы получили от 12 предприятий (табл. 2).

Таблица 2

Серия тепловоза	Количество предприятий	Количество тепловозов	Отработано часов	Израсходовано топлива, кг	$Q_{п.}$, Т	$Q_{г.}$, Т	v , км/ч	$G_{пз.}$, км/ч
ТУ4	9	33	63716	930000	44	110	17,1	14,6
МД54	3	14	23088	194100	26	69	7,3	8,4

Сравнение данных табл. 1 и 2 указывает на их достаточно удовлетворительную сходимость.

Коэффициент K в уравнении (1) отражает влияние сезонных температурно-метеорологических условий на расход топлива. Его величина приведена в работе [2].

Итак, используя уравнения (4), (5), (6), на основании уравнения (1) и при известных $a_{пз.}$, $a_{м.н.}$, $a_{м.в.}$ можно определить средний расход топлива при смешанной работе тепловозов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. В. Дуров. Об эксплуатационной топливной экономичности лесовозных узкоколейных тепловозов при поездной работе. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 1970.
 [2]. А. В. Дуров. О расходе топлива узкоколейными тепловозами при маневровой работе. Труды АЛТИ, XXXV, Архангельск, 1972. [3]. А. В. Дуров, Ю. Н. Красильников, О. Д. Орленко. Измерительная аппаратура для исследования топливной экономичности узкоколейных тепловозов. Труды АЛТИ, XXVI, Архангельск, 1971. [4]. А. В. Дуров, Ю. Н. Красильников, О. Д. Орленко. О расходе топлива дизелями узкоколейных тепловозов на холостом ходу. Труды АЛТИ, XXVI, Архангельск, 1971. [5]. А. В. Дуров, Ю. Н. Красильников, О. Д. Орленко, Б. К. Микитюк. Инструкция по применению временных технических норм расхода топливо-смазочных материалов для лесовозных узкоколейных тепловозов ТУ5 и ТУ6. Минлесдревпром, АЛТИ, Архангельск, 1971. [6]. А. В. Дуров, О. Д. Орленко. О расходе топлива для лесовозных узкоколейных тепловозов, следующих резервом. Труды АЛТИ, XXII, Архангельск, 1970. [7]. А. В. Дуров, О. Д. Орленко, Н. Н. Смирнов. Инструкция по применению временных технических норм расхода топливо-смазочных материалов для лесовозных узкоколейных тепловозов. Минлесдревпром, СевНИИП, АЛТИ, Архангельск, 1970.

Поступила 11 апреля 1973 г.

УДК 625.731.1.042

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ ВОДНО-ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Н. А. ПУЗАКОВ

Московский автомобильно-дорожный институт

Е. И. ШЕЛОПАЕВ

Сибирский технологический институт

Приведен алгоритм расчета температуры и влажности многослойной дорожной одежды и грунта земляного полотна с учетом условий тепло- и влагообмена на поверхности.

Прогнозирование расчетных параметров (влажности, модуля упругости, угла внутреннего трения, сцепления, расчетной величины морозного пучения, удельного избытка влаги в весенний период и др.) в условиях двухмерности задачи водно-теплового режима более полно учитывает зависимость их от климатических условий и рельефа местности.

Разработанные алгоритм и программа на АКИ-400 для ЭЦВМ «Минск-22» учитывают наличие следующих факторов:

- 1) неоднородность грунта земляного полотна и материала многослойной дорожной одежды;
- 2) изменение условий тепло- и влагообмена на поверхности с учетом динамики снежного покрова в зимний период на откосах земляного полотна;
- 3) миграцию и фазовые переходы грунтовой влаги при промерзании слоистой системы.

Нестационарный процесс тепло- и влагообмена в земляном полотне и дорожной одежде описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных [2]. Для решения этих уравнений применена гибкая конечно-разностная схема метода сеток. Пространственно-временную сетку разбиваем узловыми точками на блоки:

$$X = i\Delta X, \dots (i = 0, 1, 2, \dots, L); \quad 0 \leq X \leq L;$$

$$Y = j\Delta Y, \dots (j = 0, 1, 2, \dots, B); \quad 0 \leq Y \leq B.$$

$$\tau = k\Delta\tau, \dots (k = 0, 1, 2, \dots, N); \quad 0 \leq \tau \leq A.$$

Система дифференциальных уравнений аппроксимируется в конечно-разностном виде:

а) для точек поверхности

$$W_{ij}^{k+1} = A_{1ij} W_{ij}^k + B_{1ij} W_{i+1,j}^k + C_{1ij} W_{i,j-1}^k + D_{1ij} W_{i,j+1}^k + \\ + (1 - A_{1ij} - B_{1ij} - C_{1ij} - D_{1ij}) W_{ij}^k + \delta_{ij} (A_{1ij} T_{ij}^k + B_{1ij} T_{i+1,j}^k + \\ + C_{1ij} T_{i,j-1}^k + D_{1ij} T_{i,j+1}^k) - \delta_{ij} (A_{1ij} + B_{1ij} + C_{1ij} + D_{1ij}) T_{ij}^k; \quad (1)$$

$$T_{ij}^{k+1} = A_{ij} T_{ij}^k + B_{ij} T_{i+1,j}^k + C_{ij} T_{i,j-1}^k + D_{ij} T_{i,j+1}^k + (1 - A_{ij} - B_{ij} - \\ - C_{ij} - D_{ij}) T_{ij}^k + \frac{\varepsilon_{ij} \rho_{ij}}{c_{ij}} (W_{ij}^{k+1} - W_{ij}^k); \quad (2)$$

б) для внутренних точек исследуемой системы расчет ведется по уравнениям (1) и (2), но с заменой W_{ij}^k на $W_{i-1,j}$ (3); и T_{ij}^k на $T_{i-1,j}^k$ (4).

В формулах $A, A_1, B, B_1, C, C_1, D, D_1$ — коэффициенты, учитывающие теплофизические характеристики грунта и материала, размер блока и шаг по времени.

Для поверхностных точек

$$A = \frac{2\alpha_1 \Delta\tau}{c\gamma \Delta X_{ij}}; \quad A_1 = \frac{2\alpha_2 \Delta\tau}{\gamma(1-\varepsilon) \Delta X_{ij}}.$$

Для внутренних точек

$$A = \frac{\lambda_{i-1,j} \Delta\tau}{c\gamma \Delta X_{ij} \Delta X_{i-1,j}}; \quad A_1 = \frac{K_{i-1,j} \Delta\tau}{\gamma(1-\varepsilon) \Delta X_{ij} \Delta X_{i-1,j}}; \\ B = \frac{2\lambda_{i+1,j} \Delta\tau}{c\gamma \Delta X_{ij} \Delta X_{i+1,j}}; \quad B_1 = \frac{2K_{i+1,j} \Delta\tau}{\gamma(1-\varepsilon) \Delta X_{ij} \Delta X_{i+1,j}}; \\ C = \frac{\lambda_{i,j-1} \Delta\tau}{c\gamma \Delta Y_{ij} \Delta Y_{i,j-1}}; \quad C_1 = \frac{K_{i,j-1} \Delta\tau}{\gamma(1-\varepsilon) \Delta Y_{ij} \Delta Y_{i,j-1}}; \\ D = \frac{\lambda_{i,j+1} \Delta\tau}{c\gamma \Delta Y_{ij} \Delta Y_{i,j+1}}; \quad D_1 = \frac{K_{i,j+1} \Delta\tau}{\gamma(1-\varepsilon) \Delta Y_{ij} \Delta Y_{i,j+1}}.$$

Шаг по пространственным координатам выбирают из условий сходимости приближенного решения ($\Delta X = 0,2$ м, $\Delta Y = 0,5$ м), а шаг по времени ($\Delta\tau = 6$ час) из условий устойчивости решения;

T — температура грунта, °С;

W — влажность грунта, %;

τ — время, час. Результаты выдаются на печать через каждые 240 час;

λ — коэффициент теплопроводности грунта, ккал/м·град. Мерзлое состояние: 0,9 — для щебня; 1,2 — для песка; 2,3 — для суглинка. Талое состояние: 0,7 — для щебня; 1,0 — для песка; 1,8 — для суглинка;

c — удельная теплоемкость грунта, ккал/кг·град. Мерзлое состояние: 0,20 — для щебня; 0,23 — для песка; 0,32 — для суглинка. Талое состояние: 0,21 — для щебня; 0,26 — для песка; 0,38 — для суглинка;

γ — объемный вес скелета грунта, кг/м³; 1800 — для щебня, 1600 — для грунта;

ε — критерий фазового превращения жидкости в лед, для суглинистого грунта $\varepsilon = 0,75$;

ρ — удельная теплота кристаллизации льда, равная 80 ккал/кг;

K — коэффициент влагопроводности грунта, равный $0,0006 \text{ м}^2/\text{час}$;

δ — термоградиентный коэффициент, равный $0,002 \text{ 1/град}$;

T_{ϕ} — температура замерзания грунта, $^{\circ}\text{C}$; для суглинистого грунта $T_{\phi} = -1,0^{\circ}\text{C}$;

$T_{\text{в}}$ — температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; принимается подекадно по данным метеорологической станции;

α_1 — коэффициент теплоотдачи дорожным покрытием вследствие излучения и конвекции, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}$; принимается подекадно;

α_2 — коэффициент влагоотдачи дорожным покрытием, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{мм}$;

$W_{\text{в}}$ — относительная влажность воздуха; принимается подекадно по данным метеорологической станции;

L — глубина годовых нулевых амплитуд температур влажности грунта, принимается равной $14,0 \text{ м}$;

B — ширина полосы отвода, принимается равной 30 м .

При решении рассматривают зону нахождения каждого блока:

$T_{ij} < T_{\phi}$ — мерзлая зона; $T_{ij} > T_{\phi}$ — талая зона; $T_{ij} = T_{\phi}$ — зона фазовых переходов.

Каждый температурный блок имеет свой температурный эквивалент [1].

$$T'_{ij} = \frac{Q_{ij}}{c_{ij} V_{ij}},$$

где Q_{ij} — скрытая теплота фазового перехода всего блока;

c_{ij} — объемная теплоемкость блока;

V_{ij} — объем блока.

Температурный эквивалент составил: для щебня — $6,99$; для песка — $16,3$; для суглинка — $16,7$.

Для мерзлой и талой зон температуру определяют по уравнениям (1) и (2).

В зоне фазового перехода на каждом временном шаге определяют количество температурного эквивалента $\Delta T'_{ij}$, которое алгебраически суммируется с полученным в предыдущее время.

При $|\Delta T'_{ij}{}^{k+e}| \geq T'_{ij}$ фазовый переход в блоке заканчивается и температура его [1]

$$T'_{ij}{}^{k+e} = T_{\phi} + |\Delta T'_{ij}{}^{k+e}| - T'_{ij},$$

где e — порядковый номер вычислений.

Начальную температуру T_{ij0} и влажность грунта W_{ij0} принимают по данным натурных замеров на автомобильной дороге в каком-то конкретном году.

Влажность W_{ijp} в расчетный год (с повторяемостью 1 раз в 50 лет) определяют по формуле [2]

$$W_{ijp} = W_{ij0} n,$$

где n — коэффициент корреляции, необходимый для перехода от влажности какого-то года к расчетному ее значению.

Исходные данные для расчетного периода сведены в массивы, каждый из которых перфорируют в своих границах ввода:

$$T_L, W_L, T_{\phi}, \rho, \Delta X, \Delta Y, \Delta T'_{ij}, \gamma, T_{ij0}, W_{ij0}, \varepsilon, c, \lambda, K, \delta,$$

$$\alpha_1, \alpha_2, T_{\text{в}}, W_{\text{в}}.$$

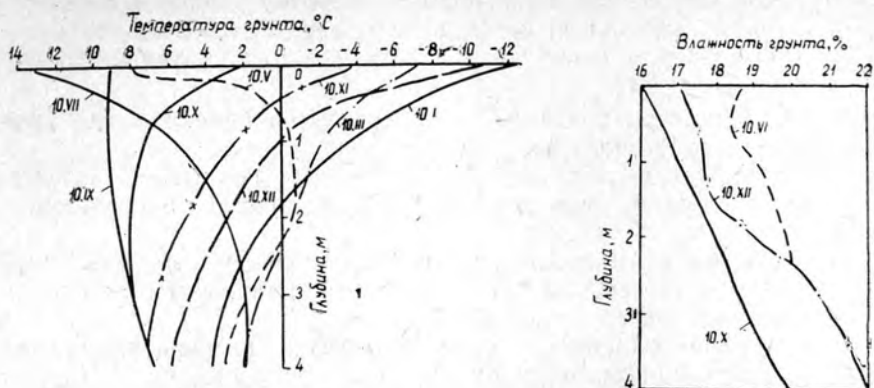


Рис. 1.

Граничные условия учитывают по данным метеорологических станций за ряд лет, определенным расчетно-вероятностным методом. Результаты расчета одного из вариантов водно-теплового режима лесовозной автомобильной дороги приведены на рис. 1. Разработанный алгоритм двумерной нестационарной задачи водно-теплового режима позволяет рассмотреть большой круг задач, решение которых ранее было невозможным.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. О. П. Орел, Р. Т. Шугаева. Учет фазовых превращений влаги при исследовании нестационарных температурных полей. Научные сообщения, вып. 8, изд-во Красноярского ПромстройНИИпроекта, 1969. [2]. Н. А. Пузаков, И. А. Золотарь, В. М. Сиденко и др. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Изд-во «Транспорт», М., 1971.

Поступила 10 октября 1973 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.053 : 621.933.6

ГРАВИТАЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЯ
ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

С. А. ВОСКРЕСЕНСКИЙ

Московский лесотехнический институт

Р. Ш. БАКИЕВ

Казанский химико-технологический институт

На основе уравнения движения образца (древесины) относительно вибрирующего ножа дана формула для определения мгновенной силы резания, когда направление вибраций ножа совпадает с направлением подачи древесины на нож. Чтобы, пользуясь этой формулой, определить мгновенную силу резания, необходимо экспериментально найти среднюю скорость подачи, силу трения между гранями ножа и стенками прореза и вес груза, подающего образец на нож.

Нами предложен метод нахождения силы резания для случая, когда направление вибраций совпадает с направлением действия силы тяжести; последнюю используют для надвигания обрабатываемой древесины на вибрирующий нож (рис. 1). При выводе формулы предполагаем, что сила трения ножа в прорезе остается неизменной при

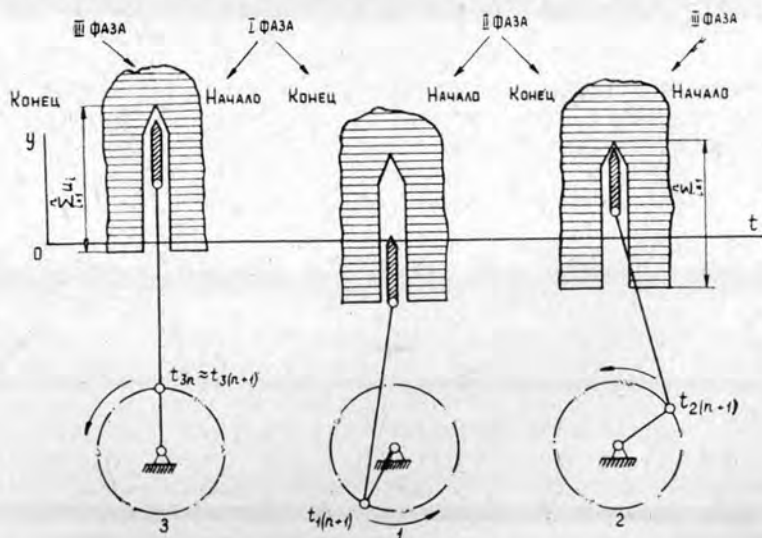


Рис. 1.

движении его в обоих направлениях. Аналогичным образом можно получить формулы для резания ножом в предположении, что величины сил трения в обоих направлениях не равны друг другу, но остаются постоянными в процессе резания.

Для получения уравнения движения образца относительно вибрирующего ножа вводим следующие определения:

$y = f(t)$ — уравнение движения образца;
 $y_2 = r + r \cos \omega t$ — уравнение движения ножа в предположении, что начало координат проходит через нижнюю мертвую точку лезвия ножа;
 $y_1 = y_2 - y$ — величина внедрения движущегося ножа в движущийся образец.

Тогда скорость внедрения

$$\frac{dy_1}{dt} = \frac{d(y_2 - y)}{dt} = -\omega r \sin \omega t - \frac{dy}{dt},$$

а ускорение внедрения

$$\frac{d^2 y_1}{dt^2} = -\omega^2 r \cos \omega t = \frac{d^2 y}{dt^2}.$$

Отсюда ускорение образца

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\omega^2 r \cos \omega t = \frac{d^2 v_1}{dt^2}.$$

По принципу Даламбера имеем следующие условия равновесия образца (рис. 1):

1) когда нож перемещается в прорезе по направлению силы $P + \Delta P$ (рис. 1, фаза III), то есть удаляется от дна прореза, то

$$\frac{P + \Delta P}{g} \left(-\omega^2 r \cos \omega t - \frac{d^2 y_1}{dt^2} \right) = -(P + \Delta P) - F_{\text{тр}} + \Delta P, \quad (1)$$

где ΔP — сила сопротивления движению каретки по направляющим;
 $P + \Delta P$ — вес груза, надвигающего образец на нож; следовательно, процесс резания осуществляется частью веса P (полный вес $P + \Delta P$);

$F_{\text{тр}}$ — сила сопротивления движению ножа в прорезе образца;

2) если нож перемещается в прорезе в направлении, противоположном действию силы тяжести $P + \Delta P$ (рис. 1, фаза I), то есть приближается к дну прореза, то

$$\frac{P + \Delta P}{g} \left(-\omega^2 r \cos \omega t - \frac{d^2 y_1}{dt^2} \right) = -(P + \Delta P) + F_{\text{тр}} - \Delta P; \quad (2)$$

3) когда нож, разрушая древесину, внедряется в нее (рис. 1, фаза II), то

$$\frac{P + \Delta P}{g} \left(-\omega^2 r \cos \omega t - \frac{d^2 v_1}{dt^2} \right) = -(P + \Delta P) + P_{\text{рез}} - \Delta P, \quad (3)$$

где $P_{\text{рез}}$ — полная сила резания (внедрения) ножа в образец, включая силу трения по всем граням ножа и силу разрушения.

Интергрируя соотношения (1), (2) и (3), можно получить уравнение движения (внедрения) образца относительно вибрирующего ножа, а если выполнить интегрирование за n циклов (периодов), то можно вычислить величину прорезания за n циклов. Полагая, что нож в начальный момент находится в верхней мертвой точке, а образец неподвижен (рис. 1, фаза I), после интегрирования выражения (1) получим

$$\begin{aligned} y_1' &= \frac{dy_1}{dt} = \int \left[\frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} g - \omega^2 r \cos \omega t \right] dt = \\ &= \frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} g t - \omega r \sin \omega t + C_{11}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$y_1 = \int y_1' dt = \frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} \cdot \frac{gt^2}{2} + r \cos \omega t + C_{11}t + C_{21}. \quad (5)$$

Очевидно, для принятых начальных условий (нож в начальный момент находится в верхней мертвой точке) при установившемся процессе резания (как показали расчеты) приближенно имеем

$$\text{при } t_{3n} \quad y_1 = \sum_{i=1}^n u_i; \quad \frac{dy_1}{dt} = \frac{d(y_2 - y)}{dt},$$

где n — номер цикла;

$\sum_{i=1}^n u_i$ — величина прореза, сделанная за предыдущие n циклов;

t_{3n} — момент конца внедрения ножа в n -ом цикле.

Из выражения (4) при $y_1' = 0$ постоянная интегрирования

$$C_{11} = - \frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} g t_{3n} + \omega r \sin \omega t_{3n}, \quad (6)$$

а из уравнения (5) постоянная интегрирования

$$C_{21} = \sum_{i=1}^n u_i - \frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} \cdot \frac{gt_{3n}^2}{2} - r \cos \omega t_{3n} - \left(- \frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} g t_{3n} + \omega r \sin \omega t_{3n} \right) \cdot t_{3n}. \quad (7)$$

Тогда выражение (5) приобретает вид

$$y_1 = \frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} \cdot \frac{gt^2}{2} + r \cdot \cos \omega t + \left(- \frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} g t_{3n} + \omega r \sin \omega t_{3n} \right) t + \sum_{i=1}^n u_i - \frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} \cdot \frac{gt_{3n}^2}{2} - r \cos \omega t_{3n} - \left(- \frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} g t_{3n} + \omega r \sin \omega t_{3n} \right) t_{3n}. \quad (8)$$

Уравнение (8) справедливо до тех пор, пока скорости движения вниз (рис. 1, фаза I) образца и ножа не станут равными, то есть выполнено условие $y_1 = 0$. Начиная с этого момента времени $t_{1(n+1)}$, движение происходит по уравнению (9), которое получают, по аналогии с предыдущим, интегрированием выражения (2)

$$y_1 = \left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) \frac{gt^2}{2} + r \cos \omega t + C_{12}t + C_{22}. \quad (9)$$

Постоянные C_{12} и C_{22} определяют исходя из следующих соображений.

Как сказано выше, в момент времени $t_{1(n+1)}$ в уравнении (9) $y_1' = 0$, так как в этот момент скорости движения образца и ножа равны (то есть $\frac{d(y_2 - y)}{dt} = 0$ или $y_2' = y_1'$), поэтому

$$C_{12} = - \left[\left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) g t_{1(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{1(n+1)} \right]. \quad (10)$$

Постоянную C_{22} находят из условия, что в момент времени $t_{1(n+1)}$ величина y_1 из уравнения (5) равна величине y_1 из выражения (9)

$$C_{22} = g \left(1 + \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) \frac{(t_{1(n+1)} - t_{3n})^2}{2} + \left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) \cdot \frac{gt_{1(n+1)}^2}{2} + \\ + \omega r (t_{1(n+1)} - t_{3n}) \sin \omega t_{3n} - \omega r t_{1(n+1)} \sin \omega t_{1(n+1)} - \\ - r \cos \omega t_{3n} + \sum_{i=1}^n u_i, \quad (11)$$

Тогда уравнение (9) приобретает вид

$$y_1 = \left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) \cdot \frac{g(t - t_{1(n+1)})}{2} + \left(1 + \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) \cdot \frac{g(t_{1(n+1)} - t_{3n})^2}{2} + \\ + \omega r (t_{1(n+1)} - t_{3n}) \sin \omega t_{3n} + \omega r (t - t_{1(n+1)}) \times \\ \times \sin \omega t_{1(n+1)} + r (\cos \omega t - \cos \omega t_{3n}) + \sum_{i=1}^n u_i. \quad (12)$$

Поскольку в момент времени $t_{1(n+1)}$ скорость $y'_1 = 0$, то этот момент времени, начиная с которого справедливо уравнение (9), с учетом выражений (4) и (6), определяется соотношением

$$\frac{P + F_{\text{тр}}}{P + \Delta P} \cdot gt_{1(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{1(n+1)} - \\ - \left[\left(1 + \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) gt_{3n} - \omega r \sin \omega t_{3n} \right] = 0. \quad (13)$$

Начиная с момента времени $t_{2(n+1)}$ справедливо уравнение (14), которое получается путем интегрирования соотношения (3),

$$y_1 = \left(1 - \frac{P_{\text{рез}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) \cdot \frac{gt^2}{2} + r \cos \omega t + C_{13}t + C_{23}, \quad (14)$$

где постоянные интегрирования C_{13} и C_{23} , как и в предыдущих случаях, находим из условий, что при $t = t_{2(n+1)}$ $y = \sum_{i=1}^n u_i$, а величина y'_1

из уравнения (9) равна y'_1 из выражения (14); поэтому из соотношений (9) и (14) имеем

$$C_{13} = \left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) gt_{2(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{2(n+1)} - \\ - \left[\left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) gt_{1(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{1(n+1)} \right] - \\ - \left[\left(1 - \frac{P_{\text{рез}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) gt_{2(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{2(n+1)} \right]; \quad (15)$$

$$C_{23} = \sum_{i=1}^n u_i - \left[\left(1 - \frac{P_{\text{рез}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) g \frac{t_{2(n+1)}^2}{2} + r \cos \omega t_{2(n+1)} \right] - \\ - \left[\left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) gt_{2(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{2(n+1)} \right] t_{2(n+1)} + \\ + \left[\left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) gt_{1(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{1(n+1)} \right] t_{2(n+1)} + \left[\left(1 - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{P_{\text{рез}} - \Delta P}{P + \Delta P} \right) gt_{2(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{2(n+1)} \right] t_{2(n+1)}. \quad (16)$$

Теперь, подставив значение постоянной C_{13} из соотношения (15) в уравнение (14), получим

$$\begin{aligned}
 u_{n+1} = & \left(1 - \frac{P_{\text{рез}} - \Delta P}{P + \Delta P}\right) \cdot \frac{g(t_{3(n+1)} - t_{2(n+1)})^2}{2} + \\
 & + g \left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P}\right) \cdot (t_{3(n+1)} - t_{2(n+1)}) \times \\
 & \times (t_{2(n+1)} - t_{1(n+1)}) + \omega r (t_{3(n+1)} - t_{2(n+1)}) \sin \omega t_{1(n+1)} + \\
 & + r (\cos \omega t_{3(n+1)} - \cos \omega t_{2(n+1)}), \quad (17)
 \end{aligned}$$

где $t_{3(n+1)}$ — момент окончания внедрения ножа в образец (этот момент, как показали расчеты, очень близок к моменту прохождения через верхнюю мертвую точку).

Из соотношения (17) можно написать выражение для полной силы резания

$$\begin{aligned}
 P_{\text{рез}} = & \left\{ 2 \left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P}\right) \cdot \frac{t_{2(n+1)} - t_{1(n+1)}}{t_{3(n+1)} - t_{2(n+1)}} + \right. \\
 & + \frac{2\omega r \sin \omega t_{1(n+1)}}{g(t_{3(n+1)} - t_{2(n+1)})} - \frac{2r [\cos \omega t_{3(n+1)} - \cos \omega t_{2(n+1)}] - 2u_{n+1}}{g(t_{3(n+1)} - t_{2(n+1)})^2} + \\
 & \left. + 1 \right\} (P + \Delta P) + \Delta P. \quad (18)
 \end{aligned}$$

Величину $t_{2(n+1)}$ можно определить из выражения (12), приравняв правую часть его к величине $\sum_{i=1}^n u_i$ при $t = t_{2(n+1)}$, так как в этот момент происходит соприкосновение лезвия ножа с дном прореза. В результате имеем:

$$\begin{aligned}
 & \frac{g}{2} \left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P}\right) (t_{2(n+1)} - t_{1(n+1)})^2 + \\
 & + \left(1 + \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P}\right) \frac{g(t_{1(n+1)} - t_{3n})^2}{2} + \\
 & + \omega r [(t_{2(n+1)} - t_{1(n+1)}) \sin \omega t_{1(n+1)} + (t_{1(n+1)} - t_{3n}) \sin \omega t_{3n}] + \\
 & + r (\cos \omega t_{2(n+1)} - \cos \omega t_{3n}) = 0. \quad (19)
 \end{aligned}$$

Выражение для определения $t_{3(n+1)}$ находим из условия равенства нулю величины y_x — производной уравнения (14)

$$\begin{aligned}
 & \left(1 - \frac{P_{\text{рез}} - \Delta P}{P + \Delta P}\right) g t_{3(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{3(n+1)} + \left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P}\right) g t_{2(n+1)} - \\
 & - \omega r \sin \omega t_{2(n+1)} - \left[\left(1 - \frac{F_{\text{тр}} - \Delta P}{P + \Delta P}\right) g t_{1(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{1(n+1)} \right] - \\
 & - \left[\left(1 - \frac{P_{\text{рез}} - \Delta P}{P + \Delta P}\right) g t_{2(n+1)} - \omega r \sin \omega t_{2(n+1)} \right] = 0. \quad (20)
 \end{aligned}$$

Таким образом, достаточно экспериментальным путем определить силу трения $F_{\text{тр}}$ и силу надвигания $P + \Delta P$ для соответствующего значения подачи на цикл u_{n+1} , чтобы, пользуясь формулой (18), вычислить полную силу резания $P_{\text{рез}}$.

УДК 674.023

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО БЕССТРУЖЕЧНОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ЗУБЧАТЫМИ ДИСКАМИ

П. М. МАЗУРКИН

Марийский политехнический институт

Изложены результаты исследований резания древесины вдоль волокон без образования опилок быстро вращающимися дисками с зубьями, которые имеют различие в конструкции по сравнению с круглыми пилами.

Нами были проведены предварительные опыты по бесстружечному резанию древесины вдоль волокон зубчатыми дисками [5], по результатам которых создана экспериментальная установка и опытным путем определены некоторые энергосиловые параметры продольного бесстружечного пиления древесины.

Теоретическое обоснование гипотезы деформирования в процессе резания древесины разработано в Ленинградской лесотехнической академии под руководством проф. Е. Г. Ивановского [3], [4]. При этом принимается, что общая деформация древесины состоит из упругой (мгновенной и остаточной) и пластической (мгновенной и остаточной) деформаций. Скорость распространения опережающих трещин — некоторая постоянная величина, равная, по Е. Г. Ивановскому, 150—250 м/с. Мгновенная упругая деформация распространяется со скоростью звука в древесине [1] и является, по-видимому, наибольшей по сравнению с остальными составляющими общей деформации. Л. Е. Загорюлько [3] установил уменьшение поля деформаций впереди резака и под ним даже при скорости от 0 до 5 м/с.

Указанные положения позволили сделать вывод о том, что продольное бесстружечное резание возможно и эффективно при использовании высоких скоростей резания, так как появляется возможность устранения опережающих трещин; в этом случае основное влияние на процесс деления древесины оказывают ее релаксационные свойства. Круглые пилы, имеющие простую конструкцию и позволяющие развивать высокие рабочие скорости, были приняты нами в качестве инструмента для проведения исследований бесстружечного резания после соответствующего изменения зубчатого венца.

Методика опытов составлена с учетом данных по исследованию продольной распиловки древесины круглыми пилами, полученных различными авторами [6]. Опыты мы проводили на установке, состоящей из многоскоростного привода зубчатого диска диаметром до 500 мм, вращающегося со скоростью от 690 до 7150 об в 1 мин, и многоскоростного привода подачи (скорость подачи 0,03—0,4 м/с). Заготовки древесины толщиной 0—100 мм и длиной до 500 мм подавали в суппорте под любым углом к направлению волокон.

Один из зубчатых дисков был изготовлен из полотна обычной круглой пилы по ГОСТу 980—69; параметры его следующие: $D = 360$ мм; $S = 2,0$ мм; $Z = 60$ шт.; $\alpha = 30^\circ$; $\beta = 40^\circ$. Этот диск изготовлен без развода зубьев и имеет дополнительный параметр — угол за-

острения по передней грани в виде симметричного клина $\varphi = 35^\circ$. Для сравнения (в производственных условиях опытным пилоправом) использовали круглую пилу с аналогичными параметрами, зубья которой разводились на 0,5 мм в каждую сторону.

В данной работе приведены результаты распиловки образцов толщиной 25 мм из ели воздушно сухого состояния. Средний кинематический угол встречи 41° , диаметр шайб был принят равным 160 мм.

Влияние рабочей скорости. Изменение удельной работы резания, подсчитанной по отношению к толщине инструмента, в зависимости от рабочей скорости, при всех значениях скорости подачи и угловых параметров зубьев, по характеру одинаково. С увеличением рабочей скорости количество проходов зуба по одному и тому же месту возрастает. Скорость движения зуба намного меньше скорости восстановления упругих деформаций и при каждом проходе зуб испытывает нагрузку от предыдущих резов, которая относительно уменьшается с увеличением количества проходов. Это уменьшение незначительно, поэтому с повышением рабочей скорости общая работа резания, равная сумме работ каждого зуба, возрастает.

В зоне максимального значения K скорость движения зуба такова, что при каждом последующем проходе он испытывает меньшую нагрузку. Упругие деформации за время прохода зуба восстанавливаются еще неполностью, как древесина уже деформируется последующими зубьями. Доля общих упругих деформаций уменьшается с увеличением рабочей скорости.

С дальнейшим возрастанием рабочей скорости волокна древесины все меньше успевают восстанавливать упругую деформацию. Доля остаточных пластических деформаций возрастает, общая работа всех зубьев уменьшается. При больших значениях рабочей скорости величина K асимптотически приближается к некоторому пределу. Доля

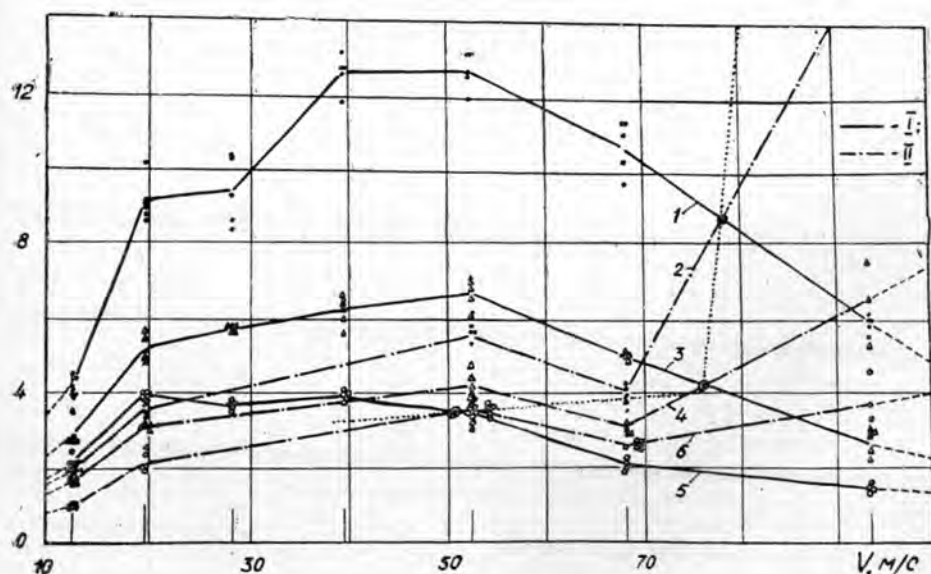


Рис. 1. Графики зависимости удельной работы резания K от рабочей скорости V .

1, 2 — скорость подачи 0,05 м/с; 3, 4 — 0,10 м/с; 5, 6 — 0,18 м/с; I — для зубчатого диска; II — для круглой пилы.

упругих деформаций в дальнейшем почти не уменьшается, достигая некоторого минимума.

Сравнение работы зубчатого диска и круглой пилы. Из рис. 1 видно, что до некоторой величины рабочей скорости изменение K для круглой пилы аналогично изменению K для зубчатого диска. Для круглой пилы характер кривой совпадает с характером кривой по результатам опытов Н. К. Якунина [6] и выводам А. Л. Бершадского ([2], стр. 133).

Сравнение кривых на рис. 1 показывает, что при увеличении рабочей скорости и скорости подачи зубчатый диск имеет преимущества перед круглой пилой. При скорости резания 80—100 м/с удельная работа зубчатого диска в 2—3 раза меньше, чем круглой пилы; это отношение можно увеличить путем улучшения конструкции инструмента и уменьшения площади контакта инструмента с древесиной.

Влияние скорости подачи. Из рис. 2 видно, что имеется аналогия между опилочным пилением и бесстружечным резанием.

С увеличением скорости подачи удельная работа уменьшается по экспоненте. Для различных значений рабочей скорости отмечается зависимость, рассмотренная в предыдущих пунктах.

С возрастанием скорости подачи количество проходов зубьев уменьшается. Из-за относительно малой скорости подачи скорость резания изменяется незначительно, и давление на зуб осуществляется одинаково вследствие небольшого изменения релаксационных свойств древесины. Поэтому общая удельная работа всех зубьев уменьшается.

Изменение ширины пропила. Ширина пропила для процесса резания древесины зубчатыми дисками находится в значительной зависимости от режима резания (рис. 3). С увеличением рабочей скорости ширина пропила увеличивается вначале интенсивно, а затем наблюдается прямо пропорциональная зависимость. С увеличением скорости подачи ширина пропила уменьшается (что связано с уменьшением количества проходов зубьев по одному месту), а доля упругих деформаций повышается.

При пиление круглой пилой ширина пропила изменяется незначительно и составляет 3,5 мм. При $V=100$ м/с и $U=0,18$ м/с в случае бесстружечного резания ширина пропила равна 2,3 мм; поэтому относительная экономия древесины по ширине пропила составляет около 3,4%.

Качество обработки. Во всех случаях пиления зубчатыми дисками чистота по-



Рис. 2. Графики зависимости удельной работы резания K круглой пилой от скорости подачи U .

1 — скорость вращения 12,9 м/с; 2 — 39,6 м/с;
3 — 52,4 м/с; 4 — 68,1 м/с.

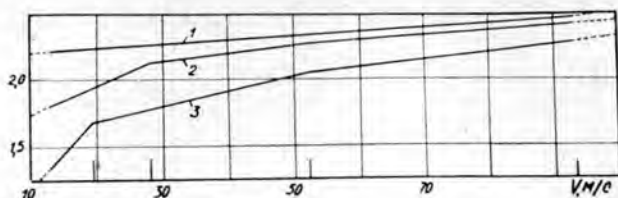


Рис. 3. Графики зависимости ширины пропила b от рабочей скорости V .

1 — скорость подачи 0,05 м/с; 2 — 0,10 м/с; 3 — 0,18 м/с.

верхности выше, чем при пилении круглыми пилами, и достигает 7—9-го классов по ГОСТу 7016—68. Поверхность пропила ровная, глянцевая, с уплотненным слоем древесины. С увеличением скорости подачи чистота поверхности реза ухудшается, вначале появляются слабые ворсинки, а затем наблюдается некоторая фразнища в восстановлении деформированной зоны ранней и поздней древесины (при скоростях более 0,5 м/с). С возрастанием рабочей скорости качество поверхности значительно улучшается.

В основном, древесина пропила уплотняется по боковым поверхностям, и лишь незначительная часть древесины при малых значениях рабочей скорости выносится наружу в виде мелкой пыли. Количество пыли возрастает с повышением неточностей инструмента, заточки и движения его относительно древесины, а также с увеличением шероховатостей поверхности инструмента.

При больших значениях V и наименьших U вместо пыли в результате скобления начинает выделяться дым, который образуется в связи с превращением легкоразлагающихся веществ древесины в газообразное состояние из-за возникновения высоких температур инструмента. При уменьшении контакта инструмента с древесиной и использовании рациональных отношений V/U дым перестает выделяться. Цвет поверхности реза при этом одинаков с цветом самой древесины.

Результаты опытов показали, что пороки древесины не влияют на точность и качество резания. Зубчатый диск распиливает древесину как по сучкам, так и в околосучковой зоне без изменения направления резания. При входе и выходе зубьев из пропила образуются острые кромки заготовки без разрушений. Бесстружечное пиление зубчатыми дисками нами осуществлялось в любых направлениях по отношению к волокнам. Точность обработки по высоте пропила и длине заготовки зависит от рабочей скорости и скорости подачи. При чрезмерно малых значениях отношения V/U наблюдается силовое резание древесины. В опытах при $V/U < 50$ скол происходит перед окончанием реза и тем раньше, чем меньше это соотношение. С увеличением V/U скол устранялся, что указывает на уменьшение сил резания и устранение опережающей трещины.

Лабораторные исследования показали, что бесстружечное резание древесины зубчатыми дисками возможно в любых направлениях по отношению к волокнам, в частности, вдоль волокон. По нашим данным, бесстружечное резание имеет преимущества перед опилочным пилением по качеству обработки, экономии древесины и затратам электроэнергии. С увеличением рабочей скорости и скорости подачи эти преимущества возрастают, при этом производительность бесстружечного пиления аналогична производительности круглых пил. В случае использования зубчатых дисков без уширения зубьев достигается следующая экономиче-

ская эффективность: ширина пропила уменьшается до 1,5—2 раз; качество обработки повышается до 7—9-го классов; уменьшаются энергозатраты.

Исследования описанного способа бесстружечного резания древесины в Марийском политехническом институте продолжаются.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Ф. П. Белянкин, В. Ф. Яценко. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязко-пластического тела. Изд. АН УССР, Киев, 1957. [2]. А. Л. Бершадский. Резание древесины. Гослесбумиздат, М.—Л., 1958. [3]. Л. Е. Загорюлько. Некоторые вопросы деформирования древесины при ее резании. Диссертация. ЛТА, Л., 1970. [4]. Исследование поля деформаций древесины в зоне действия реза. Отчет НИСа М7756. ЛТА, Л., 1970. [5]. П. М. Мазуркин. О бесстружечном резании древесины. ИВУЗ. «Лесной журнал» № 4, 1971. [6]. Н. К. Якунин. Исследование режимов пиления и профилировки зубьев круглых пил для продольной распиловки древесины хвойных пород. В кн. «Новое в эксплуатации дереворежущего инструмента». Гослесбумиздат, М.—Л., 1956.

Поступила 23 февраля 1973 г.

УДК 674.053 : 621.933.6

РЕНТГЕНО- И МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ИЗНОСА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ЗУБЬЕВ РАМНЫХ ПИЛ

Л. Ф. СТЕПАНОВА, Е. М. БОРОВИКОВ

Архангельский лесотехнический институт

Изложены результаты исследований, целью которых было выяснение причин износа твердосплавных зубьев рамных пил. Рентгено- и микроструктурный анализы, проведенные на изношенных и неизношенных поверхностях пластинок из твердых сплавов, показали обеднение поверхностного слоя в процессе износа по кобальту. Сделано предположение, что одна из причин износа — избирательное вытравливание кобальтовой фазы при взаимодействии еловой древесины с поверхностью твердых сплавов.

Вопросы, связанные с повышением износостойкости зубьев рамных пил, имеют особое значение, так как недостаточная износостойкость не позволяет сократить количество перебивок пил в смену, что ведет к снижению производительности рамных потоков.

«Наиболее кардинальным решением этой проблемы, — отмечает проф. А. Э. Грубе, — является применение рамных пил с пластинками из твердых сплавов» [4]. Рамная пила, зубья которой были армированы твердосплавными металлокерамическими пластинками, впервые создана в 1952—1954 гг. в Ленинградской лесотехнической академии А. Э. Грубе с сотрудниками. В Архангельском лесотехническом институте начиная с 1962 г. проводятся исследования по созданию работоспособных рамных пил с твердосплавными пластинками. Была разработана технология изготовления таких пил, исключая коробление их полотна во время пайки, проведено промышленное опробование различных конструктивных вариантов зубьев, исследовано влияние отдельных факторов на прочность твердосплавных зубьев [1], [2]. В результате была создана достаточно работоспособная конструкция твердосплавной пилы, обеспечивающая распиловку хвойного сырья с посылкой до 48 м/об в течение 16—24 упрягов [3].

Все проведенные до настоящего времени исследования не затрагивают вопросов износа твердосплавных пластинок, которыми армируются зубья рамных пил, поэтому интересно выяснить природу износа твердосплавных зубьев. С этой целью рентгено- и металлографическим методами изучали структуру поверхности износа пластинок у затупленных при распиловке еловой древесины зубьев рамных пил, проработавших в течение 10—15 упрягов. Для эксперимента брали изношенные пластинки сплавов следующих марок: ВК15, ВК10М и Т5К12В. Для сравнения изучали неизношенную поверхность пластинок тех же сплавов.

Рентгенограммы для фазового анализа были получены на аппарате УРС-55А в железном и кобальтовом излучениях от наклонного шлифа на цилиндрическую пленку. Съемку вели со щелевой диафрагмой $0,5 \times 1,5$ мм в дебаевской камере общего назначения РКД. Для устранения β -излучения использовали фильтры из MnO_2 — для железного анода и из Fe — для кобальтового. Наилучшие результаты получены с фильтром для Fe-излучения. Рентгенограммы промеряли на инструментальном микроскопе УИМ-22. Межплоскостные расстояния рассчитывали по общепринятой методике [5], [9].

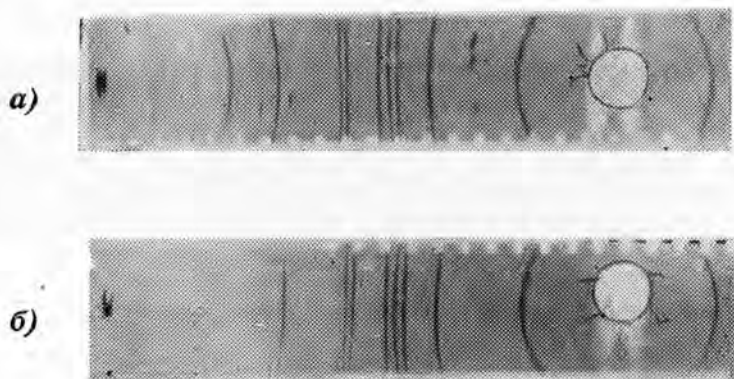


Рис. 1. Рентгенограммы, снятые на аппарате УРС-55А в Fe-излучении от неизношенной (а) и изношенной (б) поверхностей пластинок сплава ВК15.

Полученные результаты сравнивали с табличными данными [7]. На всех рентгенограммах, снятых от неизношенной поверхности пластинок, видны четкие сплошные линии, принадлежащие карбиду вольфрама WC , и отдельные рефлексы Co -фазы (рис. 1, а). В процессе съемки образец не вращался, поэтому подобная картина указывает на большие размеры зерен кобальта, что согласуется с результатами, полученными другими авторами [6]. На рис. 1, б приведена типичная рентгенограмма от изношенной поверхности пластинки сплава ВК15. Здесь не появились рефлексы Co -фазы. На полученных рентгенограммах на железном и кобальтовом излучениях от разных изношенных поверхностей сплавов ВК15 рефлексы чаще всего не обнаруживались совсем или появлялись в виде еле заметных точек. Это можно объяснить уменьшением концентрации Co -фазы в поверхностном слое на глубине проникновения рентгеновских лучей.

Для уточнения этого предположения сняты рентгенограммы с вращающегося образца в камере обратной съемки ИКРОС в Fe-излучении с диафрагмой $\varnothing 1,0$ мм на плоскую пленку с фильтром и без него. При

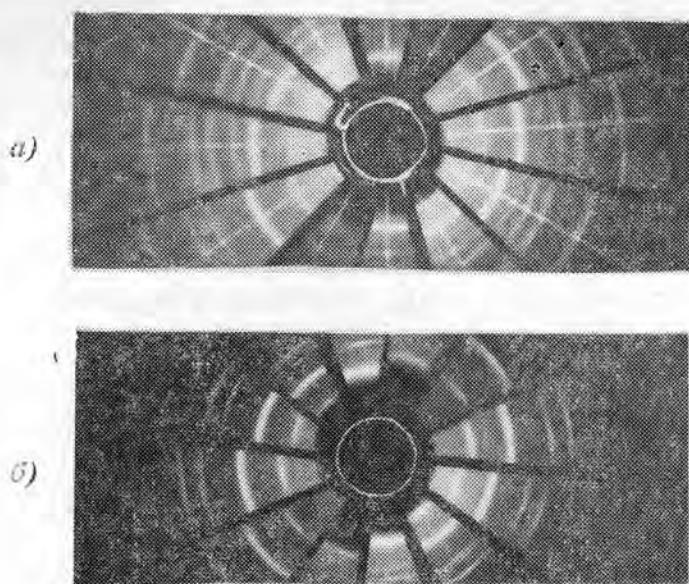


Рис. 2. Рентгенограммы, снятые в камере ИКРОС в Fe-излучении от неизношенной (а) и изношенной (б) поверхностей пластинок сплава ВК15.

разных расстояниях от образца до пленки в данной камере можно получить не более двух α -линий WC и Co-фазы. В этом случае при вращении образца принадлежащие кобальту линии получают сплошными.

Два типичных снимка, сделанных с помощью секторной кассеты, приведены на рис. 2. Нетрудно убедиться, что на рис. 2, б, в отличие от рис. 2, а, отсутствуют две линии. Расчет показал, что эти линии принадлежат Co-фазе и являются для β -кобальта (кубическая модификация) «отражениями» от плоскостей (311) и (222).

Анализ большого количества рентгенограмм, снятых с изношенных и неизношенных поверхностей твердых сплавов, позволяет сделать следующее предположение: при износе твердосплавных пластинок сплавов ВК15 поверхностный слой на глубине порядка 2 мкм объединяется по кобальту. Известно, что неравновесный твердый раствор кобальта обнаруживается рентгенографически при содержании его в твердом сплаве в количестве не менее 10% [9]. Следовательно, можно утверждать, что поверхностный слой пластинок ВК15 после износа содержит не более 10% кобальта.

Металлографические исследования проводили по двум направлениям: 1) изучение поверхности износа на металломикроскопе МИМ-7; 2) исследование микрорельефа с помощью интерферометра МИИ-4.

Для эксперимента были приготовлены пластинки всех исследуемых марок твердого сплава до и после износа и шлиф ВК15, избирательное травление которого производили в соляно-кислом насыщенном растворе хлорного железа для вытравливания кобальтовой фазы. Таким образом, мы имели возможность сравнивать микроструктуру поверхности, прошедшей абразивную обработку (до износа), травленного шлифа и поверхности износа. Сравнение показало, что микроструктуры поверхностей износа всех исследуемых сплавов и травленного шлифа имеют большое сходство, разница только в величине зерна у разных марок сплавов. Зерна карбида имеют свою естественную огранку, за-

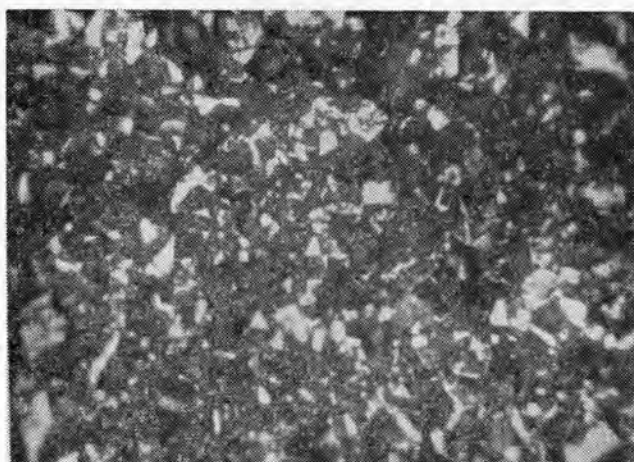


Рис. 3. Фотография поверхности износа пластинки Т5К12В (увелич. в 600 раз).

оваливания нигде не заметно (рис. 3). На поверхности крупных зерен при увеличении в 1000 раз можно наблюдать следы скола. Грубая оценка шероховатости по изменению фокусировки микроскопа с «вершины» на «подножие» крупных зерен дает результаты в 1—2 мкм.

Анализ металлографических наблюдений приводит к следующим результатам: поверхность износа имеет большое сходство с травленным шлифом; карбидные зерна оголяются на глубину порядка собственных размеров; в процессе износа не наблюдается заovalивания зерен.

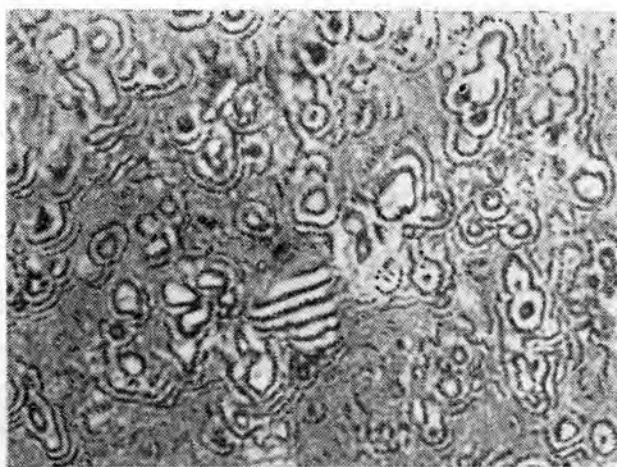


Рис. 4. Интерферограмма поверхности износа пластинки Т5К12В (увелич. в 1000 раз).

Для более детального исследования микрорельефа изучали интерференционную картину поверхности износа (рис. 4). Интерференционные полосы на заточенной поверхности имеют обычный вид параллельных линий с изгибами, соответствующими следам обработки. На

поверхности износа картина сильно меняется, полосы теряют свою первоначальную ориентацию. Интересно наблюдать изменение интерференционной картины на границе изношенной и неизношенной поверхности, резкие изломы полос соответствуют скачкообразному изменению высоты микрорельефа на границе перехода. Интерференционные полосы по форме напоминают геометрические фигуры, чаще всего — окружности, эллипсы. По числу таких замкнутых кривых с общим центром, зная длину световой волны λ можно определить изменение по высоте Δh двух точек на поверхности, принадлежащих вершине и подножию зерна

$$\Delta h = \frac{\Delta k \lambda}{2}, \quad (1)$$

где Δk — число интерференционных полос;
 λ — длина световой волны.

На некоторых крупных зернах наблюдается система практически параллельных полос. Такие полосы «равной толщины» получаются на поверхности клина с малым углом наклона. Расстояние между полосами обратно пропорционально углу клина, число же полос позволяет, согласно формуле (1), подсчитать высоту выступающей над поверхностью части зерна. Расчет показал, что зерна карбидной фазы оголяются на изношенной поверхности на 1—2 мкм. На некоторых снимках крупнозернистых сплавов в пределах одного большого зерна можно видеть изгибы полос интерференции, соответствующие угловатой оправке зерен. Подобная картина наблюдалась и на травленной поверхности шлифа ВК15.

Таким образом, из интерференционной картины сплавов всех исследуемых марок видно, что интерференционные полосы напоминают картину для травленного шлифа; шероховатость поверхности износа равна 1—2 мк, то есть зерна карбида оголяются в процессе износа на величину порядка линейных размеров зерна; зерна имеют округлую и угловатую форму, что возможно только тогда, когда они не подвергаются износу. Результаты рентгеноструктурного анализа показали уменьшение содержания кобальта на поверхности износа твердосплавных пластинок.

Металлографическими исследованиями установлено, что на поверхности износа нет видимых следов от абразивной обработки, четко выявляется структура сплава. При сравнении поверхности опытных образцов с поверхностью избирательно травленного шлифа получается полная аналогия. Карбидные зерна не имеют видимых следов износа. Интерференционная картина поверхности износа показала, что зерна карбида выступают над поверхностью на величину до половины и более своих размеров.

Все перечисленное позволяет сделать заключение, что одной из причин износа твердосплавных зубьев рамных пил, оснащенных пластинками твердых сплавов марок ВК15, ВК10М и Т5К12В, является избирательное травление кобальтовой связки химически активными веществами еловой древесины, которые, вероятно, образуются при пилении в условиях повышенных температур и давлений. В результате травления связки оголяются карбидные зерна, которые затем вырываются с поверхности сплава, не успевая выполнить роль износостойкой составляющей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Е. М. Боровиков, А. С. Поздеев. О влиянии высокочастотного нагрева при пайке и отпуске на микроструктуру и прочность твердосплавных зубьев рамных пил. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 2, 1970. [2]. Е. М. Боровиков, А. С. Поздеев.

Влияние марки металлокерамического твердого сплава на прочность зубьев рамных пил. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 6, 1970. [3]. Е. М. Боровиков, А. С. Поздеев. Особенности изготовления и промышленное испытание твердосплавных рамных пил. Труды АЛТИ, сб. XXIV, Архангельск, 1971. [4]. А. Э. Грубе. Дереворежущие инструменты. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1971. [5]. Н. Н. Качанов, Д. И. Миркин. Рентгеноструктурный анализ. Машгиз, 1960. [6]. А. Е. Ковальский, Л. Х. Пивоваров. Сборник материалов по металлосведению и технологии изготовления металлокерамических твердых сплавов. Ч. II, М., 1963, стр. 17. [7]. С. С. Толкачев. Таблицы межплоскостных расстояний. Изд-во «Химия», Л., 1968. [8]. В. И. Третьяков. Металлокерамические твердые сплавы. НТИ ЧЦМ, М., 1962. [9]. Я. С. Уманский. Рентгенография металлов. НТИ ЧЦМ, М., 1960.

Поступила 3 мая 1973 г.

УДК 634.0.812

ВЛИЯНИЕ КОНДИЦИОНИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ВНУТРЕННИЕ ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ВЫСУШЕННЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛАХ

Ю. Н. КОНДРАТЬЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния кондиционирующей обработки на внутренние остаточные напряжения в пиломатериалах после камерной сушки. Проведен дисперсионный анализ однофакторного эксперимента, который показал, что после влаготеплообработки необходимо вместо подсушки проводить кондиционирующую обработку.

Вопросы, связанные с кондиционирующей обработкой пиломатериалов после камерной сушки, изучены недостаточно. В связи с этим в лаборатории сушки ЛТА нами были проведены исследования для определения величины внутренних остаточных напряжений в пиломатериалах, полученных: 1) после влаготеплообработки с подсушкой; 2) после влаготеплообработки с кондиционирующей обработкой; 3) после сушки с кондиционирующей обработкой.

Для эксперимента брали сосновые образцы толщиной 32 мм, шириной 150 мм и длиной 450 мм. Торцы образцов во время сушки были замазаны смолой ВИАМ-БЗ. Сушку проводили по нормальному режиму, влаготеплообработку — в течение 3 час при температуре 90°C и относительной влажности, равной единице, подсушку — по режиму последней ступени сушки продолжительностью 2,5 часа, кондиционирующую обработку — в течение 10 час при температуре 90°C и относительной влажности, равной 9% равновесной влажности материала.

Исходя из полученных опытных данных, в соответствии с ГОСТом 11603—65 [1], были построены эпюры внутренних остаточных напряжений и проведен дисперсионный анализ однофакторного эксперимента. В качестве измеряемой величины принята сумма максимальных растягивающих и сжимающих напряжений. Количество опытов и конечные результаты дисперсионного анализа приведены в табл. 1 и 2.

Эпюры, представленные на рис. 1, 2 и 3, характерны для всех опытов. В первом случае (рис. 1), при проведении подсушки после влаготермообработки, значительно увеличиваются как напряжения σ , так и перепад конечной влажности W_k по толщине материала. Диспер-

* Работа проведена под руководством проф. А. Н. Песоцкого.

Таблица 1

Комплекс	Фактор	Число наблюдений
1	После сушки A_1	11
	После влаготермообработки A_2	11
	После подсушки A_3	11
2	После сушки B_1	18
	После влаготермообработки B_2	18
	После кондиционирующей обработки B_3	18
3	После сушки B_1	15
	После кондиционирующей обработки B_2	15

Таблица 2

Показатель достоверности различия			Показатель достоверности различия				
для комплекса	расчетный θ_p	табличный θ_T при соответствующем числе степеней свободы	по факторам	расчетный θ_p	табличный θ_T при соответствующем числе степеней свободы		
1	16,03	$\theta_{30; 2}$	$\theta_5 = 3,32$ $\theta_1 = 5,39$ $\theta_{01} = 8,77$	A_2A_3	4,82	$\theta_{30; 1}$	$\theta_5 = 4,17$ $\theta_1 = 7,56$
2	19,67	$\theta_{51; 2}$	$\theta_5 = 3,32$ $\theta_1 = 5,39$ $\theta_{01} = 8,77$	B_2B_3	0,025	$\theta_{51; 1}$	$\theta_{25} = 1,38$ $\theta_5 = 4,17$
3	2,51	$\theta_{28; 1}$	$\theta_{25} = 1,38$ $\theta_{10} = 2,89$ $\theta_5 = 4,20$	—	—	—	—

сионный анализ показывает, что в 95 случаях из 100 различие достоверно.

Во втором случае (рис. 2), при кондиционирующей обработке после влаготермообработки, напряжения практически остаются такими же, как и после влаготермообработки, а перепад влажности уменьшается. Дисперсионный анализ различия между напряжениями не дает.

В третьем случае (рис. 3), при проведении кондиционирующей обработки сразу после сушки, незначительно уменьшаются напряжения и существенно снижается перепад влажности. Дисперсионный анализ показывает существенное различие в 75 случаях из 100.

Таким образом, для пиломатериалов I и II категорий качества сушки, где контролируются внутренние остаточные напряжения, вместо подсушки (которую рекомендуют руководящие материалы [2]) после влаготермообработки необходимо проводить кондиционирующую обработку.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. ГОСТ 11603—65. Древесина. Метод определения остаточных внутренних напряжений. М., 1966. [2]. Руководящие материалы по камерной сушке пиломатериалов. ЦНИИМОД, Архангельск, 1971.

Поступила 6 апреля 1973 г.

УДК 674.416

К ВОПРОСУ О СУШКЕ ШПОНА В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ИНЕРТНОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА

В. Е. БАБАЙЛОВ, В. Н. ПЕТРИ

Уральский лесотехнический институт

Изложены результаты исследования процесса сушки шпона в псевдоожигенном слое шлаковых шариков — отходов производства шлаковаты. Работа проведена в лабораторных условиях на шпоне размером 150×250 мм.

Существующие способы сушки сырого лущеного шпона требуют применения громоздкого и сложного оборудования со значительными удельными расходами тепла и электроэнергии. Поэтому необходимо изыскивать более совершенные и экономичные способы сушки.

Для сушки шпона как в виде отдельных листов, так и непрерывной ленты, можно использовать псевдоожигенный слой инертного мелкозернистого материала, применяемого в качестве промежуточного теплоносителя. Нами проведены исследования по сушке сырого лущеного шпона из березы в псевдоожигенном слое шлаковых шариков — отходов производства шлаковаты. Шарики предварительно были разделены на четыре фракции: 0,4—0,63; 0,63—0,8; 0,8—1,0; 1,0—1,25 мм; средний диаметр частиц d_{cp} для каждой фракции соответственно равен 0,515; 0,715; 0,9 и 1,125 мм.

Схема лабораторной установки показана на рис. 1. Поперечное сечение сушильной камеры равно 100×300 мм, решетка перфорированная, диаметр ее отверстий 2,5 мм и живое сечение 3,1%. Чтобы предотвратить провал частиц во время остановок установки, на решетку накладывали сетку с размером ячеек в свету $0,315 \times 0,315$ мм.

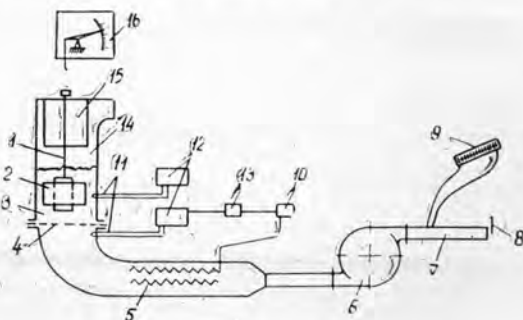


Рис. 1. Схема лабораторной установки.

1 — рамка для крепления шпона; 2 — шпон; 3 — псевдоожигенный слой; 4 — решетка с сеткой; 5 — электронагреватели; 6 — вентилятор ВВД-5; 7 — всасывающий патрубок; 8 — заслонка; 9 — тягонапоромер; 10 — магнитный пускатель; 11 — термореле; 12 — электронные потенциометры; 13 — термопары; 14 — сушильная камера; 15 — камера взвешивания; 16 — весы.

Рис. 2. Зависимость продолжительности сушки шпона толщиной 1,5 мм от температуры агента сушки. ($W_H = 80\%$; $W_K = 6\%$).

1 — конвективная сушка в ленточных сушильках ($v = 2$ м/сек); 2 — комбинированная сушка в роликовых сушильках ($v = 2$ м/сек); 3 — сопловая сушка ($v = 15$ м/сек); 4 — контактная сушка в дыхательных прессах; 5 — сушка в псевдооживленном слое ($d = 0,4 \div 0,63$ мм, $v = 0,7$ м/сек).

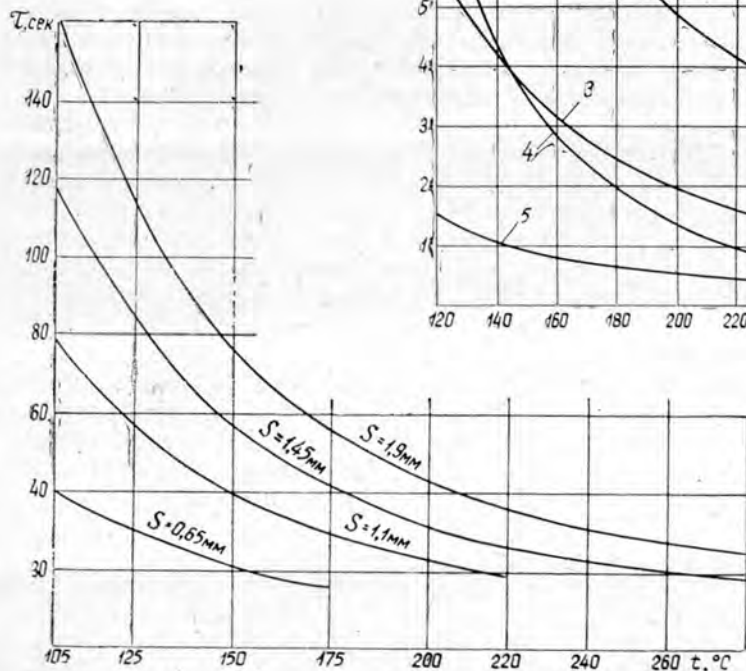
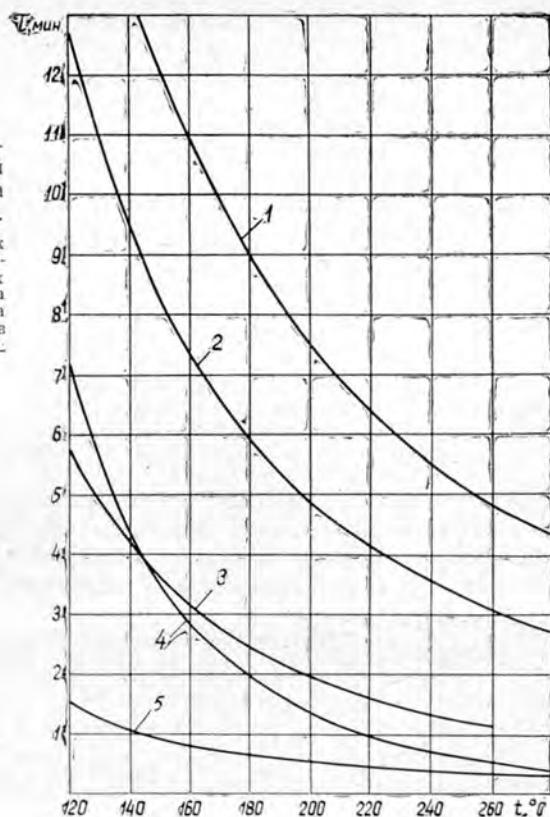


Рис. 3. Зависимость продолжительности сушки шпона от температуры псевдооживленного слоя ($W_H = 80\%$; $W_K = 6\%$; $d = 0,4 \div 0,63$ мм; $v = 0,7$ м/сек).

Сырой шпон разрезали на образцы размером 150×250 мм. Влажность определяли весовым методом путем периодического взвешивания образца. Методика взвешивания следующая. После выдержки (в течение 5 сек) в псевдооживленном слое рамку с образцом прикрепляли к весам так, чтобы образец находился в камере взвешивания, со всех сторон омываемой отходящим из слоя горячим воздухом для поддержания температуры взвешивания, близкой к температуре слоя. В процессе взвешивания (около 15 сек), чтобы предохранить образцы от гидравлических ударов и ударов, вылетающих из слоя частиц, камеру взвешивания снизу прикрывали откидывающейся крышкой. Так как в процессе взвешивания массообмен значительно снижается, время взвешивания

вания не включалось в продолжительность сушки, поэтому для более точного определения длительность процесса следует увеличить ориентировочно на 10—15%.

Как известно [1], влияние отдельных действующих факторов на интенсивность процесса сушки не одинаково. Например, температура псевдооживленного слоя, скорость газовой среды, размер частиц, их плотность и исходная высота насыпного слоя являются основными факторами. Такие факторы как форма, состояние поверхности частиц, геометрические характеристики слоя, физико-химические свойства газовой среды воздействуют на процесс сушки значительно слабее. В процессе исследований мы изучали факторы, оказывающие решающее влияние на процесс сушки.

Температура псевдооживленного слоя определяет длительность процесса сушки, качество высушиваемого материала и механизм переноса тепла и массы. Из рис. 3 видно, что при сушке шпона толщиной 1,45 мм повышение температуры псевдооживленного слоя от 105 до 280°C (в 2,7 раза) сокращает продолжительность процесса в 6,5 раза, причем начальное повышение температуры оказывает более значительное влияние, чем последующее. Возрастание температуры от 260 до 280°C сокращает длительность сушки всего лишь в 1,12 раза. Следовательно, дальнейшее повышение температуры экономически нецелесообразно.

Взаимное расположение кривых на рис. 2 указывает на степень интенсивности процесса сушки шпона толщиной 1,5 мм в псевдооживленном слое инертного мелкозернистого материала по сравнению с существующими способами сушки [2].

Из рис. 3 и 4 видно, что толщина шпона оказывает значительное влияние на продолжительность сушки. Зависимость между продолжи-

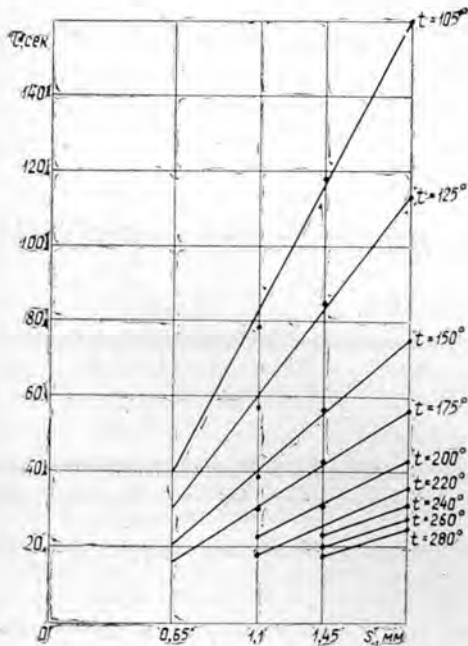


Рис. 4. Зависимость продолжительности сушки от толщины шпона.

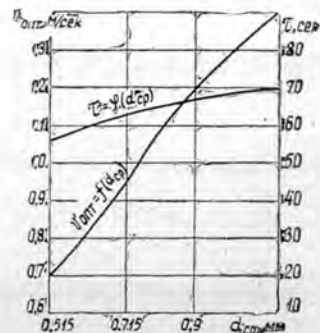


Рис. 5. Зависимость продолжительности сушки шпона и оптимальной скорости воздуха от среднего размера частиц d_{cp} ($W_{II} = 80\%$; $W_K = 6\%$; $t = 150^\circ\text{C}$; $s = 1,45$ мм).

тельностью сушки и толщиной шпона, при постоянных значениях прочих факторов, имеет линейный характер

$$\tau = ks - b,$$

где коэффициенты k и b зависят от температуры (k — тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс). Следовательно,

$$\tau = f(t) \cdot s - \varphi(t) \text{ сек},$$

$$\text{где } k = f(t) = 1,98 \cdot 10^7 \cdot t^{-2,63} + 7,78;$$

$$b = \varphi(t) = 11,9 \cdot 10^7 \cdot t^{-3,29} + 1,41.$$

Скорость газового потока (воздуха), определяя гидродинамическую обстановку внутри псевдооживленного слоя, а также вблизи поверхности сохнущего материала, хотя и незначительно, но все же

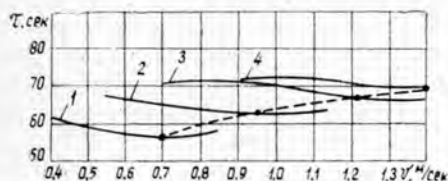


Рис. 6. Зависимость продолжительности сушки шпона от скорости воздуха ($W_{н} = 80\%$; $W_{к} = 6\%$; $t = 150^{\circ}\text{C}$; $s = 1,45 \text{ м.м.}$).

1 — фракция $0,4 \div 0,63 \text{ м.м.}$; 2 — $0,63 \div 0,8 \text{ м.м.}$;
3 — $0,8 \div 1,0 \text{ м.м.}$; 4 — $1,0 \div 1,25 \text{ м.м.}$ Штриховой линией показана зависимость τ от $\tau_{\text{опт}}$ для каждой фракции.

влияет на интенсивность сушки (кривые 1—4 на рис. 6). Несмотря на сравнительно узкий диапазон изменения линейной скорости воздуха, кривые имеют максимумы, которым соответствуют свои оптимальные скорости, характерные для каждой фракции материала. Кроме того, с увеличением среднего размера частиц увеличивается не только оптимальная скорость, но и продолжительность сушки (взаимное расположение кривых на рис. 5 и 6).

В процессе исследований было выяснено, что для каждой фракции частиц оптимальная скорость воздуха достигается при одинаковых числах псевдооживления, равных 2—2,2 (число псевдооживления — это отношение скорости оживающего агента к скорости начала псевдооживления). Из анализа кривых на рис. 5 и 6 можно заключить, что, с точки зрения сокращения энергетических затрат и получения максимальной интенсивности сушки в диапазоне исследованных фракций частиц, фракция $0,4—0,63 \text{ м.м.}$ оптимальна.

При изменении исходной высоты насыпного слоя частиц от 150 до 300 мм, исследованных при температурах псевдооживленного слоя 105, 150 и 200°C и скорости воздуха $0,7 \text{ м/сек}$ (фракция $0,4—0,63 \text{ м.м.}$), влияния на интенсивность сушки шпона не наблюдалось.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. И. Гельперин и др. Основы техники псевдооживления. М., 1967. [2]. Д. М. Стерлин. Сушка в производстве фанеры и древесностружечных плит. М., 1968.

УДК 674.812

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОДШИПНИКОВ ИЗ ДП ПРИ РАБОТЕ В ВОДНО-АБРАЗИВНОЙ СРЕДЕ

В. М. ЗАЛОЖНЫХ

Воронежский лесотехнический институт

Проведены стендовые испытания подшипников из прессованной древесины березы (с торцовым расположением волокон) на трение и износ в водно-абразивной среде. Как показали испытания, подшипники из ДП можно применять в этих условиях в широком напрузочно-скоростном интервале.

Механизмы, используемые на лесосплавных операциях, обычно работают в водоемах, загрязненных абразивными веществами. Эти вещества проникают в узлы трения и способствуют усиленному износу металлических подшипников и валов.

В целях определения возможности применения подшипников из прессованной древесины при работе в водно-абразивной среде нами были проведены стендовые испытания в условиях, близких к реальным. Объектом испытаний явились втулки, изготовленные из трапециевидных брусков березы одноосного прессования объемной массой $1,2 \text{ г/см}^3$ с торцовым расположением волокон к поверхности трения. Для предотвращения изменения размеров по наружному диаметру и по длине от разбухания втулки вставляли в металлическую обойму и ограничивали с торцов упорными кольцами. Чтобы устранить влияние разбухания ДП на величину внутреннего диаметра, собранный подшипник выдерживали в воде не менее 20 суток до полного водопоглощения древесины, а затем растачивали на токарном станке до требуемых размеров. Первоначальный диаметральный зазор между шипом и подшипником брали равным $0,4 \text{ мм}$, наружный диаметр втулки 75 мм , внутренний 60 мм при длине 48 мм . Материалом вала служила сырая сталь 5.

Испытания проводили на специально сконструированной установке при скоростях вращения вала от $0,06$ до $2,5 \text{ м/сек}$ и удельных нагрузках на подшипник от $4,1$ до 83 кгс/см^2 . Скорость вращения вала изменялась с помощью привода ПМС-2А с индукторной муфтой скольжения и коробки перемены передач. Подшипник нагружали через рычаг и специальную систему типа весов трения, позволяющую производить измерение силы трения. Усилия от момента трения измеряли тензометрическим способом.

Испытуемый подшипниковый узел находился в баке с водой, содержащей примесь абразивных частиц. В качестве абразива служил речной кварцевый песок следующего гранулометрического состава: содержание частиц крупностью более $0,5 \text{ мм}$ — 7% ; от $0,25$ до $0,5 \text{ мм}$ — 68% ; от $0,1$ до $0,25 \text{ мм}$ — 23% и менее $0,1 \text{ мм}$ — 2% . Количество песка брали равным 4 ; 8 и 12% от массы воды. Частицы абразива во взвешенном состоянии поддерживались смесителем, приводимым во вращение от специального электродвигателя. Температура воды в баке сохранялась постоянной, равной 18°C , за счет регулирования количества подаваемой холодной воды и стока нагретой воды из бака через специальное отверстие с фильтром.

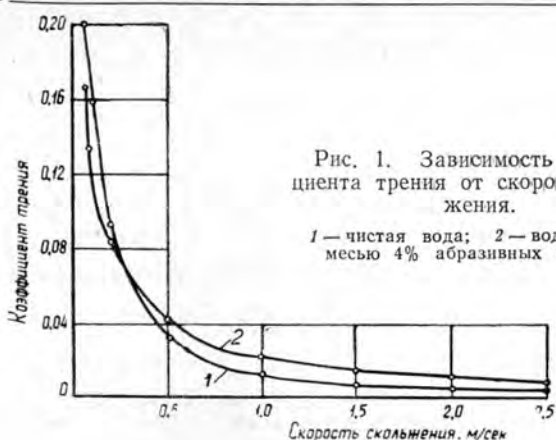


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения.

1 — чистая вода; 2 — вода с примесью 4% абразивных веществ.

Испытания показали, что наибольшее влияние на работу подшипников из ДП при работе в водно-абразивной среде оказывала скорость скольжения. С повышением скорости от 0,06 до 1,5 м/сек резко снижался коэффициент трения от 0,13—0,15 до 0,020—0,008 (рис. 1). Дальнейшее повышение скорости до 2,5 м/сек приводило к незначительному снижению коэффициентов трения.

Изменение удельной нагрузки оказывало меньшее влияние на коэффициент трения, причем при разных скоростных режимах это влияние неодинаково. При скоростях, меньших 0,5 м/сек, увеличение удельной нагрузки на подшипник до 35 кгс/см² вызывало рост коэффициента трения; с дальнейшим повышением нагрузки до 83 кгс/см² он уменьшался (рис. 2). При скоростях выше 0,5 м/сек коэффициент трения с ростом нагрузки снижался.

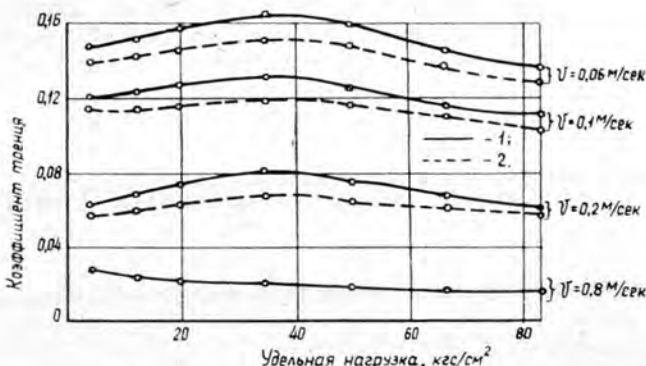


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от удельной нагрузки на подшипник.

1 — вода с примесью 4% абразива; 2 — вода с примесью 12% абразива.

Присутствие абразивных частиц и повышение их концентрации в исследуемых пределах приводило к снижению коэффициента трения по сравнению с работой подшипника в чистой воде при скоростях скольжения, меньших 0,5 м/сек (рис. 3). При скоростях выше 0,5 м/сек присутствие абразивных частиц вызывало рост этого коэффициента. Так, при скоростях скольжения в пределах 1,0—2,5 м/сек коэффициент

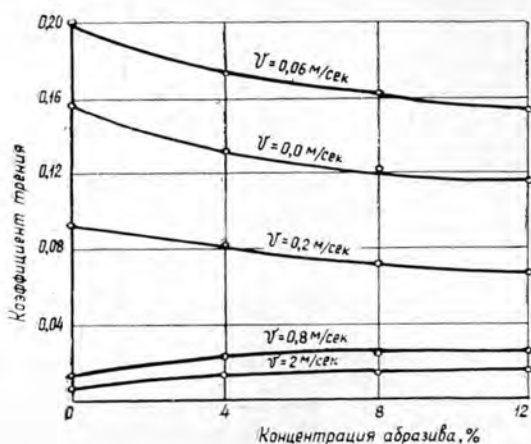


Рис. 3. Влияние концентрации абразивных частиц на коэффициент трения при $P = 35 \text{ кгс/см}^2$.

трения при работе в воде, содержащей 12% абразивных частиц, возрос в 2—3 раза по сравнению с работой в чистой воде.

Одновременно с измерением сил трения измеряли температуру подшипника медно-константановыми термодарами, заделанными в тело подшипника на глубину, не доходившую до поверхности трения на величину порядка 0,5 мм. Наличие больших масс воды, обладающей хорошей теплоемкостью, создавало благоприятные условия для охлаждения подшипникового узла. Поэтому, несмотря на низкую теплопроводность прессованной древесины, температура подшипника не превышала 32°C во всем скоростно-нагрузочном режиме испытаний.

Износ подшипников из ДП определяли после 70 час непрерывной работы в чистой воде и в водной среде, содержащей 4; 8 и 12% абразивных частиц при скорости скольжения 0,1 м/сек и удельной нагрузке 16 кгс/см^2 . Величина износа возрастала с 0,055 мм при работе в чистой воде до 0,086 мм при работе в воде, содержащей 12% абразивных частиц. С уменьшением концентрации абразива величина износа снижалась до 0,078 мм и 0,068 мм при работе в водной среде, содержащей соответственно 8 и 4% абразивных частиц.

Удельная нагрузка 83 кгс/см^2 не является предельной для подшипников из ДП. Более высокая грузоподъемность подшипника в данных условиях работы, по сравнению с работой на смазке минеральными маслами, обеспечивается за счет хорошего охлаждения водой, так как основной критерий нагрузочной способности подшипника из ДП определяется температурой его нагрева.

Таким образом, подшипники из прессованной древесины с торцовым расположением волокон можно применять в широком нагрузочно-скоростном интервале при работе в водно-абразивной среде.

УДК 621.822

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ ДРЕВПЛАСТМАСС

В. И. РОГАЧЕВ

Челябинский политехнический институт

Исследования показали, что можно изготовить подшипники, облицованные древлпластмассой. Испытываемые подшипники с облицовкой имели более высокую работоспособность по сравнению с цельнопрессованными за счет лучшего теплоотвода через тонкий слой пластмассы. Для снижения коэффициента трения были проведены опыты с введением в активную зону пластмассы дисульфид молибдена, что позволяет повысить надежность подшипников и их долговечность, снизить потери на трение и износ.

Подшипники из древлпресскрошки (ДПК) широко применяются во многих узлах трения машин благодаря их низкой стоимости, технологичности и износостойкости. Такие подшипники почти не изнашивают вал, хорошо работают во влажной среде. Однако им присущи и недостатки, главные из них: плохая теплопроводность и повышенный коэффициент трения; поэтому в условиях, где нет возможности обеспечить жидкостное трение, подшипники работают плохо, перегреваются [1].

Надежность пластмассовых подшипников можно повысить улучшением условий теплоотвода и снижением потерь на трение: тепло из зоны трения отводится через вал, тело подшипника и смазывающую жидкость. Отвод тепла от вала затруднен, а усложнение конструкции с целью отвода тепла циркулирующей охлаждающей жидкости не оправдывает себя. Лучше всего охлаждение происходит при смазке водой, хуже — при смазке маслами (рис. 1 и 2). Из-за сложности условий

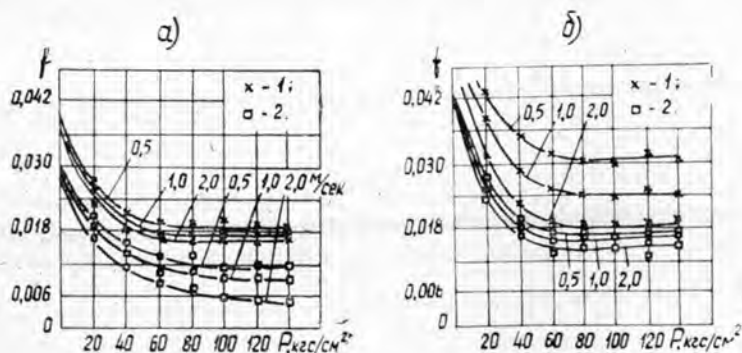


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения облицованного и цельнопрессованного подшипников скольжения от удельного давления при различных окружных скоростях вала.

а — при смазке водой; б — при смазке машинным маслом;
1 — ДПК-30; 2 — ДПК-30 с облицовкой.

не всегда можно обеспечить надежный отвод тепла от всех участков поверхности трения. Поэтому основное внимание следует уделять уменьшению потерь на трение и улучшению условий теплоотвода через тело подшипника.

Тепло отводится через толщину материала и дальше через стенки подшипника и его корпус. Поскольку интенсивность теплоотвода обратно пропорциональна толщине стенки и прямо пропорциональна коэффициенту теплопроводности, следует стремиться уменьшить толщину стенки и повысить теплопроводность. Естественно, что теплопроводность материала нельзя изменить, поэтому повысить теплоотдачу подшипника можно лишь с помощью наполнителей. Опыты показали, что применение композиций с добавками металлов (стружки меди, бронзы или алюминия) нецелесообразно, так как снижается прочность пластика. В то же время выигрыш в теплопроводности мал даже при значительном содержании металлических включений. Наиболее обещающий путь увеличения теплоотдачи — уменьшение толщины стенок подшипникового материала. Однако при простом уменьшении толщины стенок снижается также прочность вкладышей. Поэтому была предложена и принята на испытание конструкция стального подшипника, облицованного внутри древлпастмассой [2].

Внутреннюю поверхность стальной втулки или вкладыша делают с рифлениями, зачищают и покрывают клеем, затем во вкладыш как в прессформу запрессовывают нужный слой древесной пресскрошки, пропитанной фенол-формальдегидной смолой, и в собранном состоянии выдерживают при температуре 145—165°C.

В готовом подшипнике слой пластмассы хорошо удерживается на вкладыше. Испытания показали, что под большой нагрузкой (150 кгс/см² и более) облицовка не отстает от металлической основы. Облицовка позволяет значительно уменьшить толщину слоя пластмассы, оставив его в пределах 3—5 мм, то есть в 3—4 раза меньше, чем в обычном подшипнике.

С уменьшением толщины слоя пластмассы резко улучшаются условия теплопередачи. Подклейка к неровной поверхности улучшает теплопередачу, избавляет от местных очагов перегрева, отдача тепла от стальной постели к корпусу выше, чем от сплошной пластмассы. Желательно толщину облицовки уменьшить настолько, чтобы до половины всего выделяющегося тепла отводилось через подшипник.

Если принять, что из общего количества тепла, выделенного подшипником, около половины расходуется на нагрев и отвод тепла через вал и смазочно-охлаждающую жидкость, то количество тепла, отводимого через подшипник,

$$Q_{\text{н}} = \frac{f \cdot P \cdot V}{2 \cdot 427}$$

где f — коэффициент трения;
 P — нагрузка, кгс;
 V — скорость скольжения, м/сек.

Во время работы подшипника тепло передается через металлическую обойму стенкам корпуса и дальше в окружающую среду. Однако основная причина температурных вспышек, вызывающих обугливание подшипников, — плохой отвод тепла из зоны трения через тело облицовки к металлу. При этом во всех случаях в слоях, близких к зоне выделения тепла, то есть около поверхности трения, температура выше, наименьшая — в зоне, прилегающей к металлу. С улучшением теплоотвода температура в зоне трения понижается и, следовательно, можно повысить надежность подшипников.

Опыты показали, что коэффициент трения древлпластмасс выше, чем у многих других подшипниковых материалов, особенно в сравнении с подшипниковыми сплавами из цветных металлов. Коэффициент трения снижается при смазке, однако материалы из пластмасс имеют низкий модуль упругости, большую площадь прилегания и, следовательно, худшие условия попадания смазки в опасные зоны. При пониженных скоростях скольжения условия образования устойчивого масляного клина отсутствуют, работа протекает в условиях граничного трения и в некоторых зонах возможно трение без доступа смазывающей жидкости.

В практике уже известны пластмассовые подшипники с твердыми графитовыми присадками. Графит снижает коэффициент трения, однако при повышенном его содержании подшипники становятся хрупкими, поэтому в качестве присадки был применен дисульфид молибдена, важное свойство которого — способность создавать на трущихся поверхностях тонкий смазочный слой, причем при любых возможных в подшипниковых узлах давлениях этот слой в зоне трения на поверхности деталей сохраняется. Толщина смазочного слоя может быть весьма малой, поэтому даже самые малые дозы дисульфид молибдена в составе пластмассы достаточны для покрытия всей трущейся поверхности.

Коэффициент трения поверхностей, покрытых смазочным слоем дисульфид молибдена, мал; это позволяет создавать подшипниковую пару с малыми потерями и выделением тепла. Следует отметить, что дисульфид молибдена дороже пластмассы, при его добавлении повышается стоимость подшипника, поэтому по возможности необходимо уменьшить содержание дисульфид молибдена в пластмассе.

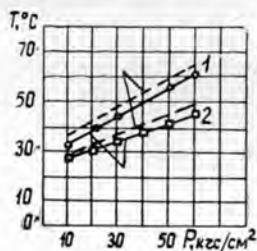


Рис. 2. Зависимость температуры (расчетной и фактической) от удельного давления при скорости 0,5 м/сек для цельнопрессованных вкладышей из древлпластмасс толщиной 5 мм (кривая 1) и облицованных вкладышей толщиной 2,5 мм (кривая 2), смазка — солидол.

Целесообразно изготовлять подшипники, у которых дисульфид молибдена находится только в активной зоне пластмассы на такой глубине, где возможен износ подшипника. Содержание дисульфид молибдена может быть принято до 1,0% по весу; практически это не влияет на прочностные свойства пластмасс.

Выводы

1. Коэффициент трения облицованных подшипников скольжения по сравнению с цельнопрессованными меньше при смазке водой (рис. 1), а также при смазке машинным маслом (рис. 2).

2. Грузоподъемность вкладышей, облицованных древлпластмассой, при смазке водой, машинным маслом и солидолом больше грузоподъемности цельнопрессованных вкладышей; так, при смазке водой грузоподъемность соответственно равна 160 и 90 кгс/см², при смазке машинным маслом — 120 и 70 кгс/см².

3. При уменьшении толщины облицовки улучшается работа подшипника. При небольшой толщине облицовки возрастает влияние металлической основы на отвод тепла.

4. Уменьшение толщины слоя древлпастмассы до 2,5 мм с добавкой молибдена позволяет снизить температуру в подшипнике на 25—40% (рис. 2).

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Ш. М. Билик. Пары трения металл — пластмасса в машинах и механизмах. Изд-во «Машиностроение» 1966. [2]. В. И. Рогачев, А. Ф. Кармадонов. Облицовка подшипников скольжения древлпастмассой. «Вестник машиностроения» № 2, 1969.

Поступила 24 января 1973 г.

УДК 621.315.614.6

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ВПИТЫВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КАРТОНА

О. И. СМЕРНОВА

ВНИИдрев

Приведены экспериментальные данные о поверхностной впитываемости коробочного картона, используемого для изготовления спичечных коробок. Изложены результаты исследований влияния некоторых поверхностно-активных веществ на впитывающую способность лицевой и сеточной поверхностей мелованного и немелованного картона при одностороннем смачивании.

В отечественной спичечной промышленности внедряются высокопроизводительные автоматические линии с технологией производства спичек в коробках из картона. Коробки склеивают на коробкоклеильных машинах типа IPN-2, IVL-2 (фирма «Аренко», Швеция) и 415, 455 (фирма «Фойт», Австрия). Для изготовления коробок на этих станках фирмы применяют быстросхватывающиеся синтетические клеи типа Matador 483A, Hernia 2435, Henkel-Adhesin, термоприп-307 и высококачественный картон.

Технология склеивания картонных коробок на скоростных станках предъявляет жесткие специфические требования к качеству используемых материалов. Для стабильной работы клеильных машин необходима высокая скорость образования прочного клеевого шва, способного удержать коробку в склеенном виде.

Известно, что характер образования адгезионной связи (скорость схватывания, прочность склеивания и др.) находится в определенной зависимости от физико-химических явлений, происходящих на поверхности соприкосновения склеиваемого материала (субстрата) с клеящим веществом (адгезивом). При этом поверхностные свойства субстрата на характер клеевого соединения оказывают не менее важное влияние, чем свойства адгезива [1], [2].

Клеевой шов в спичечных коробках образуется склеиванием лицевой и сеточной сторон картона. В применяемых для склеивания коробок (на станках IPN-2, IVL-2 и 455) клеевых составах на основе водных дисперсий поливинилацетата дисперсионная среда — вода [3]. При использовании водных дисперсий поливинилацетата в качестве адгезива на образование клеевого соединения существенное влияние оказывает впитывающая способность склеиваемых поверхностей.

В литературе имеются сведения [4], [5] о влиянии впитывающей способности бумаги на качество печати. Контакт адгезива с бумагой и глубина его проникновения в толщу бумажного листа зависят от ряда факторов, определяемых как структурой бумаги (в частности, ее капиллярными свойствами), так и свойствами адгезива. Важнейшие из факторов — пористость бумаги и вязкость адгезива.

Для изучения впитывающей способности картона мы использовали капельный метод определения поверхностной впитываемости (ГОСТ 7583—55) и метод определения впитывающей способности картона при одностороннем смачивании на приборе ОС. Перед испытанием образцы картона выдерживали в эксикаторах с относительной влажностью 65% при постоянной температуре 20°C в течение времени, необходимого для достижения равновесной влажности [5].

Таблица 1

Картон	№ образца	Время поглощения капли воды поверхностью картона, мин	Впитываемость поверхности картона при одностороннем смачивании водой в течение 20 сек, г/м ²	
ТХЭМ (мелованный типа хромэрзац)	1	10	41	
		$\frac{<1}{9}$	$\frac{322}{36}$	
	2	$\frac{<1}{9}$	$\frac{390}{35}$	
		$\frac{<1}{9}$	$\frac{399}{35}$	
	Марки А	1	$\frac{1}{<1}$	$\frac{200}{410}$
			$\frac{1}{1}$	$\frac{255}{284}$
2		$\frac{1}{30}$	$\frac{290}{26}$	
Марки Б	1	$\frac{1}{<1}$	$\frac{427}{457}$	
		$\frac{1}{1}$	$\frac{224}{270}$	
	2	$\frac{1}{1}$	$\frac{153}{43}$	
		$\frac{2}{20}$		
	Фирмы „Аренко“	1	$\frac{30}{30}$	$\frac{18}{27}$
			$\frac{30}{30}$	$\frac{12}{16}$
2		$\frac{30}{28}$	$\frac{25}{29}$	
Фирмы „Фойт“	1	$\frac{30}{30}$	$\frac{18}{23}$	
		$\frac{30}{30}$	$\frac{15}{24}$	
	2	$\frac{30}{30}$	$\frac{24}{24}$	
		$\frac{30}{26}$	$\frac{24}{31}$	

Примечание. В числителе данные для лицевой поверхности картона; в знаменателе — для сеточной.

На машинах IPN-2, IVL-2, установленных на спичечной фабрике Вильяндиского ЛК, испытано большое количество промышленных партий картона Ступинской картонной фабрики. Показатели впитывающей способности некоторых образцов картона при одностороннем смачивании водой приведены в табл. 1, из данных которой видно, что для отечественных марок картона характерны сравнительно высокая гигроскопичность и разносторонняя впитываемость. При использовании картона с резко выраженной впитываемостью трудно выбрать клеевой состав. При нанесении низковязких водных дисперсий клеевая пленка быстро поглощается более гидрофильной поверхностью. Высоковязкие дисперсии также не обеспечивают образование прочного клеевого шва, особенно в случае применения картона ТХЭМ, так как на мелованной поверхности, ввиду ее низкой смачиваемости, падает скорость контактирования молекул адгезива с поверхностью субстрата.

Нами исследовано влияние некоторых поверхностно-активных веществ (ПАВ) на впитывающую способность картона при одностороннем смачивании. Для испытаний брали серии концентраций водных растворов ПАВ в пределах 0,01 — 1 г на 100 мл воды.

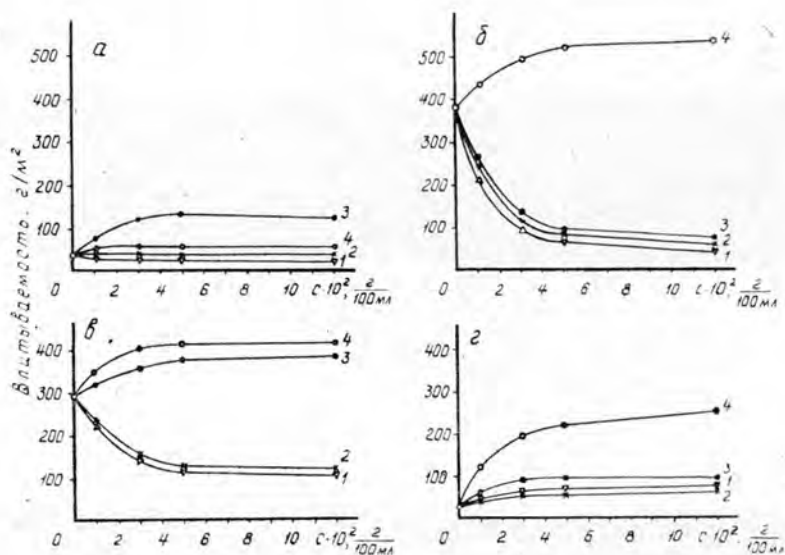


Рис. 1.

а — лицевая сторона картона ТХЭМ; б — сеточная сторона ТХЭМ;
в — лицевая сторона картона марки А; г — сеточная сторона картона марки А.

На рис. 1 показано изменение впитывающей способности лицевой и сеточной поверхностей картона в зависимости от концентрации растворов ПАВ: анионноактивных (кривая 1 — соли жирной кислоты, 2 — мыла смоляных кислот); катионноактивного (хлорида основания жирного ряда — кривая 3); неионного (эфира полиэтиленгликоля и алкилфенола — кривая 4). Кривые зависимости впитываемости от концентрации неионных и ионных ПАВ построены по результатам испытаний картона ТХЭМ (образец 2) и марки А (образец 3).

Таким образом, неионные и ионные поверхностно-активные вещества неодинаково влияют на впитывающую способность картона как на лицевой, так и сеточной сторонах. Неионные ПАВ на лицевой сто-

роне картона ТХЭМ (рис. 1, а) не оказывают заметного влияния на впитывающую способность, в остальных случаях повышение концентрации ПАВ резко улучшает впитываемость картона.

При введении ионных и неионных активных добавок в пределах концентраций активной области ПАВ получены клеевые композиции на основе водных дисперсий поливинилацетата, обладающие оптимальными клеящими свойствами для склеивания спичечных коробок из картона марок ТХЭМ, А и Б на высокоскоростных коробкоклейных станках типа IPN-2, IVL-2.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. А. Берлин, В. Е. Басин. Основы адгезии полимеров. М., изд-во «Химия», 1969. [2]. Д. А. Кардашев, В. Д. Вакула. Современные представления об адгезии полимеров и механизме процесса склеивания. ЖВХО, т. 14, № 1, 1969. [3]. В. Клейтон. Эмульсии, их теории и техническое применение. Перевод с английского. ИЛ, М., 1950. [4]. Л. А. Козаровицкий. Основные свойства мелованной бумаги для печати и методы их контроля. ЦИНИИбумдревпром, М., 1962. [5]. С. А. Пузырев, М. Д. Иншаков. Испытание бумаги и картона. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1966.

Поступила 9 апреля 1973 г.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 547.992.3

**МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ КИСЛОТ НА ЛИГНИН
ПРОТОНИРОВАНИЕ ЛИГНИНА И ЕГО МОДЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

М. Я. ЗАРУБИН, А. М. КУТНЕВИЧ

Ленинградская лесотехническая академия

Изучена реакция протонирования препаратов лигнина и его модельных соединений сильными кислотами. Приведены характеристики образующихся карбониевых ионов и обсуждены пути практического использования этой реакции.

Ранее [3] нами было отмечено образование карбониевых ионов как промежуточных продуктов при воздействии кислот на лигнин и его модельные соединения. Известно [1], что карбониевые ионы устойчивы лишь в растворах концентрированных кислот.

С целью изучения механизма действия кислот на лигнин и его модельные вещества нами получены карбониевые ионы, соответствующие структурным единицам лигнина, методом протонирования концентрированными кислотами (H_2SO_4 , H_3PO_4 , CF_3COOH и CCl_3COOH) модельных соединений лигнина, содержащих α -бензил-эфирные и бензил-спиртовые группы, α -карбонильные и сопряженные двойные связи в боковой цепи. Все растворы карбониевых ионов имели ярко-малиновый цвет и были устойчивы.

Нами изучены ультрафиолетовые спектры карбониевых ионов. Если в ультрафиолетовой области исходные вещества имели одинаковый спектр, состоящий из трех полос — 204 (E25500), 230 (7450) и 280 (3370) *нм*, кроме карбонилсодержащих соединений, где добавляются дополнительные полосы — 304 и 346 (слабые), обусловленные ароматическим кольцом, то в протонных кислотах спектры меняются. В серной кислоте три полосы замещенного ароматического кольца испытывают bathochromное смещение и дополнительно появляются новые интенсивные полосы в областях 350 и 500 *нм*. Последняя полоса, по нашему мнению, принадлежит бензильному катиону, содержащему электронодонорные группы (ОН, ОСН₃) в пара- или орто-положении.

Для бензильных катионов, не содержащих указанных групп, в области 500 *нм* поглощение не наблюдается, например, трифенилметильный катион имеет полосу 431 *нм*. Для карбониевых ионов, полученных протонированием карбонильной группы, поглощение наблюдается также в области 500 *нм*, но интенсивность полос значительно меньше.

Ароматические оксальдегиды и оксикетоны с трудом подвергаются реакции протонизации при комнатной температуре по сравнению с α -фенолоспиртами или соединениями, содержащими сопряженные двойные связи в боковой цепи. Нами была определена степень протонирования карбонильной группы для ряда соединений относительно соединений с группой ОН (фенолоспиртов). Если в последних степень протонирования принять условно за 100%, то можно построить калибровочную прямую. Точки, как нами проверено на ряде фенолоспиртов, хорошо укладываются на прямую линию, то есть выполняется закон Бугера — Бера.

При комнатной температуре концентрация карбониевого иона из 1-(4-окси-3-метоксифенил)-этанона составляет всего 0,05% от карбониевого иона из 1-(4-окси-3-метоксифенил)-этанола-1. При нагревании до 50°C концентрация возростала до 0,5%.

Аналогичные величины концентраций наблюдались и для других карбонил-содержащих соединений, например, 1-(4-окси-3-метоксифенил)-пропанона-1.

В табл. 1 приведены характеристики спектров в видимой области исследованных карбониевых ионов в концентрированной H_2SO_4 ($t = 20^\circ C$), а в табл. 2 — данные зависимости полосы поглощения в области 500 нм от вида протонного растворителя.

Таблица 1

Исходное соединение	Карбониевый ион	
	λ_{max} , нм	ϵ
1-(4-оксифенил)-пропанол-1	495	
1-(4-окси-3-метоксифенил)-метанол	526	2620
1-(4-окси-3-метоксифенил)-этанол-1	508	3020
1-(4-окси-3-метоксифенил)-пропанол-1	517	780
Изоэвгенол	521	
Эвгенол	520	
Дегидроднизоэвгенол	535	
1-(4-окси-3-метоксифенил)-1-метоксипропан	520	
1-(3,4-диметоксифенил)-метанол	530	
1-(3,4-диметоксифенил)-этанол-1	535	
1-(3,4-диметоксифенил)-пропанол-1	520	
β -гваяциловый эфир гваяцилпропандиола-1,2	440, 520	
Метилловый эфир 2-метил-1,3 дигваяцил-пентена-1	520	
1-(2-оксифенил)-метаналь	500	
1-(4-окси-3-метоксифенил)-этанон	510	
1-(4-окси-3-метоксифенил)-пропанон-1	500	23
1-(3,4-диметоксифенил)-пропанон-1	540	
1-(4-оксифенил)-пропанон-1	495	2
1-(4-оксифенил)-этанон	500	
Ванилин	520	0,5
1-(4-окси-3-метоксифенил)-2-(2-метокси-фенокси)-пропанон-1	525	
Ферулловая кислота	540	
Кониферильный спирт	535	

Таблица 2

Соединение	λ_{max} , нм		
	H_2SO_4	H_3PO_4	CCl_3COOH
1-(4-окси-3-метоксифенил)-метанол	535	554	560
1-(4-окси-3-метоксифенил)-пропанол-1	517	520	536
Изоэвгенол	520	521	543
Эвгенол	520	540	555
1-(4-оксифенил)-метаналь	480	480	482
1-(4-окси-3-метоксифенил)-пропанон-1	504	528	530

Ранее нами указывалось, что все растворы изученных карбониевых ионов имеют парамагнитные свойства [4], обусловленные образованием катион-радикалов за счет межмолекулярного переноса электрона с молекулы карбониевого иона на молекулу окислительного агента (роль которого может выполнять растворенный кислород в протонных растворителях) или за счет внутримолекулярного переноса электрона с переходом молекулы карбониевого иона в возбужденное состояние с конверсией спина-триплетного состояния.

По нашему мнению, первый путь маловероятен. Об этом свидетельствует также возрастание интенсивности сигнала ЭПР на один порядок по сравнению со спектром ЭПР на воздухе при получении карбониевого иона в вакууме с использованием тщательно обезгаженного протонного растворителя. Более вероятен второй путь, который возможен в результате увеличения сопряжения в карбониевом ионе под действием электронодонорных заместителей и уменьшения разницы энергий между ВЗМО и НСМО.

Возможно, карбониевый ион существует в двух равновесных формах: парамагнитной и диамагнитной, находящихся в равновесии.

Наши экспериментальные данные указывают, что с возрастанием температуры до определенного предела, в котором устойчив карбониевый ион, концентрация парамагнитных частиц значительно увеличивается (неподчинение закону Кюри), что мы наблюдали в случае радикалов и катион-радикалов.

Некоторые авторы [2] указывают на легкий переход метиленхинонов в триплетное состояние. В частности, бирадикальный характер метиленхинонов, не имеющих заместителей в метиленовой группе, проявляется уже при комнатной температуре, например, в случае 2,6-ди-трет-бутил-метиленхинона наблюдали ЭПР-спектр в изооктане, состоящий из трех триплетов.

Нами были сняты спектры ЭПР и УФ карбониевых ионов, полученных протонированием метиловых эфиров соответствующих соединений, из которых образование хинонметилов исключено. При замене фенольного гидроксила в положении 4 метоксильной группой совершенно не меняются спектры ЭПР и только СТС становится более четкой. Идентичны и УФ-спектры. Лишь в случае карбониевых ионов из 1-(4-окси-3-метоксифенил)-метанола и 1-(3,4-диметоксифенил)-метанола наблюдалось различие. Спектр ЭПР первого соответствовал димеру, в то время как спектр второго — мономерному карбониевому иону.

Следовательно, по нашему мнению, парамагнитные частицы образуются не из стабильных предшественников, а из карбониевых ионов. Это обстоятельство имеет принципиальное значение, так как открывает новые свойства карбониевых ионов с электронодонорными заместителями, которые помогут обнаружить их по ЭПР спектру и подтвердить их строение.

Карбониевые ионы сохранялись в растворах протонных кислот длительное время, однако парамагнитные свойства исчезали при хранении на воздухе. Малиновая окраска, характерная для карбониевых ионов указанного типа, сохраняется длительное время и при осторожном разбавлении растворов холодной водой.

Методом разбавления при хорошем охлаждении удавалось высадить карбониевые ионы в виде малинового хлопьевидного осадка, сохраняющегося длительное время при низких температурах. Более устойчивы из изученных — карбониевые ионы гваяцильного типа. Если разбавление растворов карбониевых ионов в протонных средах осуществить насыщенными растворами солей (Na_2SO_4 , NaHSO_4 и др.), то продолжительность жизни карбониевых ионов в гетерогенной фазе значительно возрастает. При нейтрализации растворов карбониевых ионов водными растворами NaHCO_3 или NaOH малиновая окраска исчезает мгновенно.

Были исследованы продукты реакции в случае 1-(4-окси-3-метоксифенил)-пропанола-1, изоэвгенола, эвгенола, ванилина и 1-(4-окси-3-метоксифенил)-пропанола-1. Продукты реакции в случае H_3PO_4 и CCl_3COOH (CF_3COOH) были выделены разбавлением водой в количествах, близких к расчетному ($\sim 90\%$). Выделенные продукты из

В спектрах почти всех препаратов лигнина обнаружена также слабая полоса 560 нм. По нашему мнению, полоса 445—450 нм в спектрах препаратов лигнина в протонных растворителях принадлежит поликарбониевому иону. Растворы препаратов лигнина в протонных растворителях сравнительно устойчивы при обычных температурах и обладали парамагнитными свойствами. Однако следует отметить, что лигнин Бьеркмана — более чувствительное соединение по отношению к концентрированным кислотам, чем модельные соединения.

Изучение протонирования лигнина и его модельных соединений, а также свойств карбониевых ионов указанного типа позволит по-новому подойти к рассмотрению механизма действия кислот на лигнин. Это поможет при изучении вопросов об извлечении лигнина из древесины. Растворы лигнина в виде активных поликарбониевых ионов можно ввести в реакции, что послужит основой для получения различных производных лигнина.

Экспериментальная часть

Получение карбониевых ионов. Навеску исследуемого вещества (10—40 мг) растворяли в 0,1—0,5 мл протонного растворителя (концентрированная серная кислота, фосфорная, трихлор- или трифторуксусная кислоты) при охлаждении ледяной водой в атмосфере аргона, в вакууме или на воздухе. Раствор помещали в ампулу \varnothing 2 мм для снятия спектра ЭПР. Спектр записывали сразу после помещения образца в резонатор. ЭПР-спектры сняты на модернизированном приборе РЭ-1301, УФ-спектры — на автоматическом спектрофотометре «Спекорд».

Исследование продуктов реакции. Навеску вещества (0,5—1 г) растворяли при охлаждении в 15—30 мл конц. серной кислоты, в 120—240 мл фосфорной кислоты или в 10—20 мл насыщенного водного раствора трихлоруксусной кислоты. Окрашенные растворы карбониевых ионов прикапывали в 100—200 мл ледяной воды или охлажденного раствора с рассчитанным количеством NaOH или NaHCO_3 для полной нейтрализации кислот. Продукты реакции выделяли фильтрованием или извлекали эфиром.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Д. Бетел, В. Голд. Карбониевые ионы. Изд-во «Мир», 1970. [2]. В. В. Ершов, Г. А. Никифоров, А. А. Володькин. Пространственно-затрудненные фенолы. Изд-во «Химия», М., 1972. 243—255. [3]. М. Я. Зарубин. ИВУЗ. «Лесной журнал» № 6, 1966, 130. [4]. М. Я. Зарубин, А. М. Кутневич, А. П. Лукашенко. ЖОХ, 9, 1973. [5]. М. Я. Зарубин, А. М. Кутневич. Сб. «Химия и технология целлюлозы». Изд. ЛГУ, 1973.

Поступила 12 июня 1973 г.

УДК 547.992.3 : 674.032.16

ОБ ИЗМЕНЕНИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЕСА ДИОКСАНЛИГНИНА СОСНЫ ПРИ ЩЕЛОЧНЫХ ВАРКАХ

Б. Д. БОГОМОЛОВ, Г. И. ПОПОВА, О. М. СОКОЛОВ, Г. Г. КОЧЕРГИНА

Архангельский лесотехнический институт

Приведены результаты исследований изменений молекулярного веса препаратов щелочных лигнинов от варок диоксанлигнина сосны. Показано, что при щелочных варках диоксанлигнина протекают как деструкционные, так и конденсационные процессы. Изменение МВ лигнина связано с изменением их функционального состава, выхода ванилина при щелочном нитробензольном окислении и концентрации парамагнитных центров (ПМЦ).

Изучение зависимости молекулярного веса (МВ) щелочных лигнинов от температуры варок показало, что повышение температуры значительно усиливает реакции дегградации и конденсации лигнина [1].

В ряде работ [3], [4], [9] представлены результаты изменения МВ щелочных хвойных лигнинов в зависимости от температуры, времени, режима варки, от сульфидности щелока и расхода активной щелочи на варку. Однако на МВ лигнина при варках древесины оказывают влияние еще некоторые факторы, что затрудняет однозначную интерпретацию полученных данных. Исследования, проведенные Э. И. Чупкой с сотрудниками [12], [13], подтвердили протекание глубоких изменений в макромолекуле лигнина, приводящих к изменению МВ. Эти авторы [12], [13], считают, что при сульфатной варке в лигнине происходят как деструкционные, так и конденсационные процессы, причем конденсационно-полимеризационные процессы наиболее энергично протекают на ранних стадиях варки и глубина их увеличивается с ростом температуры.

Для изучения характера изменений МВ лигнина нами были исследованы препараты натронных и сульфатных лигнинов, полученных варками диоксанлигнина сосны. Способ выделения и характеристика диоксанлигнина описаны ранее [2]. В одной из работ [7] приведена химическая характеристика щелочных лигнинов, полученных варками диоксанлигнина со средневесовым молекулярным весом $\bar{M}_w = 4580$ *. Этот препарат диоксанлигнина не подвергался дополнительной очистке и содержал приблизительно 2% углеводов. Для получения более чистого и однородного препарата его переосаждали из диоксана в эфир. Переосажденный диоксанлигнин имел $\bar{M}_w = 9160$ и был подвергнут натронным и сульфатным варкам.

Результаты определения МВ щелочных лигнинов от варок диоксанлигнина сосны с $\bar{M}_w = 4580$ (варки № 1—15) и с $\bar{M}_w = 9160$ (варки № 16—34) представлены в табл. 1, из которой видно, что характер изменения МВ диоксанлигнина в зависимости от температуры одинаков для обоих препаратов. Величина МВ щелочных лигнинов

* Средневесовой МВ исходных диоксанлигнинов и щелочных лигнинов определяли на ультрацентрифуге методом неустановившегося равновесия [10].

Таблица 1

Номера натронных варок	Температура варки, °С	\bar{M}_W	Выход натронных лигнинов, % от загруженного	Номера сульфатных варок	\bar{M}_W	Выход сульфатных лигнинов, % от загруженного
1	120	29800	85,6	9	17800	82,1
2	120	29170	85,6	10	18000	78,9
3	140	10430	84,0	11	8830	75,9
4	140	13750	84,0	12	8770	75,6
5	160	7680	78,4	13	8240	76,6
6	160	8870	78,5	14	8680	76,6
7	180	4760	73,8	15	4310	72,0
8	180	4430	73,8	—	—	—
16	100	32700	85,1	26	16400	83,5
17	100	29500	84,4	27	21200	81,0
18	120	29400	80,6	28	14700	78,5
19	120	29900	83,5	29	16300	79,8
20	140	17100	80,9	30	13050	77,6
21	140	14700	80,9	31	13050	78,0
22	160	9800	73,2	32	11500	73,4
23	160	8030	76,6	—	—	—
24	180	6540	76,3	34	4580	74,0

уменьшается с повышением температуры варок от 100 до 180°C. Однако у натронных и сульфатных лигнинов от варок при температурах 100, 120, 140 и 160°C молекулярный вес выше, чем у исходного диоксанлигнина; только от варки при 180°C МВ щелочных лигнинов ниже МВ исходного диоксанлигнина.

Некоторое увеличение МВ щелочных лигнинов можно объяснить фракционированием лигнина, так как часть лигнина после варки не выделяется при подкислении, а переходит в водорастворимый лигнин, в котором содержатся низкомолекулярные фрагменты макромолекулы лигнина. С повышением температуры количество водорастворимого лигнина увеличивается (табл. 1). Однако расчеты показывают, что для щелочных лигнинов от варок при 100, 120 и 140°C увеличение средневесового МВ только за счет фракционирования гораздо меньше, чем наблюдаемое увеличение. Так, для натронных и сульфатных лигнинов от варок при 100° величины \bar{M}_W равнялись 32700 и 21200, а вычисленные с учетом максимально возможного увеличения за счет эффекта дробного растворения соответственно 10500 и 10900. Расчет производили по уравнению

$$M_1 W_1 + M_2 W_2 = M,$$

где M_1 и M_2 — молекулярные веса выделенного и водорастворимого лигнинов (M_2 принимаем минимально возможным, равным весу элементарного звена, —180);

W_1 и W_2 — весовые доли выделенного и водорастворимого лигнинов;

M — молекулярный вес исходного диоксанлигнина.

Так как водорастворимая фракция содержит и более высокомолекулярные фрагменты, то увеличение МВ натронных и сульфатных лигнинов только за счет фракционирования еще меньше, и, следовательно, МВ повышается, в основном, из-за происходящих химических процессов.

Характеристика щелочных лигнинов от варок диоксанлигнина сосны приведена в табл. 2. Химический анализ выделенных препаратов лигнина показал, что изменение МВ связано с изменением функцио-

Номер варки	Температура варки, °С	Содержание в лигнине					Выход ванилина, % от лигнина	Концентрация ПМЦ, $\frac{\text{сп}}{\text{г}} \cdot 10^{-17}$
		метоксилов, %	гидроксильных, $\frac{\text{мг-экв}}{\text{г}}$			карбоксильных, $\frac{\text{мг-экв}}{\text{г}}$		
			фенольных	бензилспиртовых и этерифицированных	у γ -углеродного атома			
Исходный лигнин								
		15,24	2,39	0,61	0,69	0,40	19,3	$1,1 \pm 0,3$
Натронные лигнины								
16	100	15,27	3,15	0,65	0,35	0,34	18,0	—
17	100	15,40	3,15	—	—	0,37	18,6	—
18	120	15,33	3,00	0,53	0,23	0,30	18,5	$1,3 \pm 0,4$
19	120	15,20	3,04	—	—	0,35	18,1	—
20	140	15,61	3,62	0,44	0,28	0,41	16,3	$1,5 \pm 0,5$
21	140	15,54	3,69	—	—	0,40	—	—
22	160	15,58	3,69	0,38	0,12	0,39	13,0	$3,6 \pm 1,0$
23	160	15,53	3,67	—	—	0,42	—	—
24	180	15,58	3,69	0,20	Нет	0,43	9,8	$13,0 \pm 3,0$
25	180	15,56	3,97	—	—	0,45	—	—
Сульфатные лигнины								
26	100	14,36	3,68	0,65	0,32	0,43	14,8	—
27	100	14,30	3,53	—	0,43	0,38	15,2	—
28	120	14,63	3,58	0,38	0,22	0,49	13,8	$1,5 \pm 0,5$
29	120	14,42	3,59	—	0,35	0,67	14,5	—
30	140	14,77	4,26	0,27	0,25	0,53	12,4	$1,7 \pm 0,6$
31	140	14,69	3,88	—	0,22	0,63	12,8	—
32	160	14,08	4,50	0,27	0,14	0,57	8,9	$2,5 \pm 0,9$
33	160	13,86	4,28	—	0,22	0,6	9,4	—
34	180	13,66	4,66	0,15	0,17	0,65	5,7	$6,5 \pm 2,0$
35	180	13,63	4,68	—	—	0,66	6,5	—

Примечание. Содержание карбоксильных групп определяли кальций-ацетатным методом; фенольных — по разности кислотных групп, определяемых барий-хлоридным и кальций-ацетатным методами; бензилспиртовых и бензилэфирных — метилированием $\text{CH}_3\text{OH} \cdot \text{HCl}$ [14]; гидроксильные у γ -углеродного атома — по количеству выделенного формальдегида [17].

нального состава лигнина, выхода ванилина и концентрации парамагнитных центров (ПМЦ).

В щелочных лигнинах с повышением температуры варок содержание фенольных гидроксильных возрастает. Новообразование фенольных гидроксильных указывает на деструкцию лигнина, протекающую с разрывом эфирных связей. Однако известно, что не всякий разрыв эфирных связей приводит к деструкции лигнина и, следовательно, появление каждого нового фенольного гидроксильного нельзя интерпретировать как обязательный разрыв полимерной цепи лигнина. Фенольные гидроксильные группы могут образовываться в лигнине, при расщеплении двух типов связей: α -арилалкилэфирной в кумарановых циклах и α - и β -арилалкилэфирной в структурах, не имеющих углерод-углеродных связей; расщепление первого типа связей не приводит к разрыву макромолекулы лигнина и снижению его МВ, лишь расщепление α - и β -арилалкилэфирных связей в открытых структурах ведет к фрагментации лигнина. Чтобы уверенно утверждать, что наблюдаемое новообразование фенольных гидроксильных связано с деградацией лигнина, нужно показать, что расщепление эфирных связей идет за счет не только первой реакции, но и второй.

По литературным данным [15], [16], в лигнине содержится примерно 20% фенилкумарановых структур. Если условно принять, что молекулярный вес кумарановой структуры равен 360, то максимально возможное увеличение содержания фенольных гидроксидов за счет расщепления кумарановых циклов составляет 0,556 мг-экв/г. Количество фенольных гидроксидов в натронных лигнинах, выделенных при 100°, равно 3,15 мг-экв/г, то есть по сравнению с исходным диоксанлигнином содержание фенольных гидроксильных групп увеличилось на 0,76 мг-экв/г. Следовательно, часть фенольных гидроксидов образуется при варке вследствие расщепления α - и β -арилалкилэфирных связей в открытых структурах, и новообразование фенольных гидроксидов при щелочных варках указывает на разрыв макромолекул лигнина. Так как равнотемпературные сульфатные лигнины содержат больше фенольных гидроксидов, чем натронные, очевидно, в присутствии сульфида натрия реакции деструкции протекают более интенсивно и значительно снижают МВ лигнина.

Однако МВ щелочных лигнинов от варок при 100—140°C выше, чем исходного диоксанлигнина, значит, наряду с деградацией лигнина протекают конденсационные процессы, увеличивающие МВ. Реакции конденсации протекают при всех температурах варки. При низких температурах увеличение МВ возможно за счет процессов, протекающих с участием функциональных групп пропановой цепочки. Так, уже при 100°C в щелочных лигнинах содержание первичных гидроксильных групп — спиртовых гидроксидов у γ -углеродного атома уменьшается при натронных и сульфатных варках по сравнению с исходным диоксанлигнином.

При температуре варок 120°C в лигнинах начинает заметно уменьшаться и количество бензилспиртовых и бензилэфирных группировок. Многие исследователи [8], [11] указывают на участие этих групп в сшивке отдельных фрагментов лигнина. В реакциях конденсации могут участвовать и карбонильные группы [6], [11] содержание которых в щелочных лигнинах также значительно уменьшается по сравнению с исходным диоксанлигнином [5], а также образующиеся промежуточные продукты деструкции лигнина [18].

То, что увеличение МВ низкотемпературных щелочных лигнинов не связано с участием бензольных ядер в реакциях конденсации, подтверждается данными по выходу ванилина при нитробензольном окислении лигнинов.

Как видно из табл. 2, выход ванилина значительно снижается лишь при температурах варок 160 и 180°C. Незначительное уменьшение выхода ванилина при окислении низкотемпературных лигнинов и увеличение их МВ по сравнению с исходным диоксанлигнином говорит о том, что увеличение размеров макромолекул происходит, возможно, в основном, за счет функциональных групп пропановой цепочки.

Реакции конденсации при высоких температурах могут приводить к образованию конденсированных структур [11]. Исследования парамагнитных свойств препаратов лигнина показали, что концентрация парамагнитных центров в щелочных лигнинах выше, чем в диоксанлигнине. Наибольший рост концентрации ПМЦ происходит в лигнинах, выделенных при 160 и 180°C.

Как показал М. И. Чудаков [11], парамагнетизм лигнина обусловлен наличием конденсированных ароматических систем, увеличение доли которых улучшает условия стабилизации неспаренных электронов. Резкое снижение выхода ванилина и рост концентрации ПМЦ при температурах 160 и 180°C указывают на образование конденсированных структур в щелочных лигнинах при высоких температурах варки.

Проведенные исследования показали, что в зависимости от температуры варок в лигнине происходят деструкционные и конденсационные процессы, которые усиливаются с повышением температуры. При 100, 120 и 140°C реакции конденсации, протекающие с участием функциональных групп пропановой цепочки, увеличивают МВ лигнина. При более высоких температурах 160—180°C в конденсации участвуют бензольные ядра, однако при этих температурах усиливаются реакции дегградации, что приводит к снижению МВ лигнина. При сульфатных варках лигнина подвергается более сильной деструкции, чем при натронных.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Б. Д. Богомолов, О. М. Соколов, О. Ф. Горбулова, Е. Д. Гельфанд. Доклады советско-финского симпозиума. Л., 1968. [2]. Б. Д. Богомолов, Г. И. Попова. Сб. «Современные методы исследования в химии лигнина», Архангельск, 1970, 153. [3]. Б. Д. Богомолов, О. М. Соколов, Н. Д. Бабилова, Г. Г. Кочергина, Л. С. Чудинова. Труды АЛТИ, 25, Архангельск, 1971, 89. [4]. Б. Д. Богомолов, О. М. Соколов, Н. Д. Бабилова, Г. Г. Кочергина, Л. С. Чудинова, Г. И. Попова. Труды АЛТИ, 32, Архангельск, 1972, 64. [5]. Б. Д. Богомолов, С. Б. Пальмова, Г. И. Попова. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 1971, 98. [6]. С. Б. Пальмова. Диссертация на соискание ученой степени канд. хим. наук, Рига, 1970. [7]. Г. И. Попова, Б. Д. Богомолов. Труды АЛТИ, 23, Архангельск, 1970, 114. [8]. В. М. Резников. В кн. «Химия древесины», 4, Изд-во «Зинатне», Рига, 1969, 5. [9]. О. М. Соколов, Б. Д. Богомолов. В кн. «Химия древесины», 1, изд-во «Зинатне», Рига, 1968, 181. [10]. О. М. Соколов, Б. Д. Богомолов, Н. Д. Бабилова. Сб. «Современные методы исследования в химии лигнина», Архангельск, 1970, 22. [11]. М. И. Чудаков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора хим. наук, Рига, 1966. [12]. Э. И. Чупка, А. В. Оболенская, В. М. Никитин. В кн. «Химия древесины», 6, Рига, 1970, 95, 103. [13]. Э. И. Чупка, А. В. Оболенская, В. М. Никитин. В кн.: «Химия древесины», 9, Рига, 1971, 85. [14]. E. Adler, J. Gieger, Acta Chem. Scand., 9, 84, 1955. [15]. E. Adler. Papperi ja puu, 43, 634, 1961. [16]. E. Adler, K. Lundqvist. Acta Chem. Scand., 17, 13—26, 1963. [17]. K. Freudenberg, G. Wilke. Chem. Ber., 85, 1, 1952, 78. [18]. B. Johansson, G. E. Miksche. Acta Chem. Scand., 23, 3, 1969, 924.

Поступила 13 ноября 1973 г.

УДК 634.0.813

ГАЗО-ЖИДКОСТНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ ОКСИКИСЛОТ СУЛЬФАТНОГО ЩЕЛОКА

Н. А. ИВАНОВ, Л. Г. ПОПОВА, В. Н. ПИЯЛКИН, М. Н. НОВИКОВА,
Ю. И. ЧЕРНОУСОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Разработана методика газохроматографического анализа оксикислот сульфатного щелока в виде их метиловых и триметилсилиловых эфиров. Найдено, что в состав оксикислотной смеси входят около 10% простейших оксикислот и 20—25% сахариновых кислот. Погрешность разработанного метода при определении низкомолекулярных оксикислот не превышала $\pm 2,0\%$ (относительных).

В одной из наших работ [1] приведены сведения о составе оксикислотно-лактонной части щелока от сульфатной варки сосны (Котласский ЦБК), полученные методом бумажной хроматографии. В данном сообщении представлены результаты газо-жидкостной хроматографии (ГЖХ) оксикислот сульфатного щелока. Перед газохроматографическим анализом оксикислоты переводили в более летучие и стабильные производные — метиловые и триметилсилиловые (ТМС) эфиры.

Для получения метиловых эфиров около 0,2 г оксикислот растворяли в 5 мл метилового спирта. Метанольный раствор охлаждали до 0°C и насыщали газообразным диазومتаном, получаемым из гидразинида и хлороформа [6]. Так как лактоны оксикислот более медленно реагируют с диазومتаном [5], то для завершения метилирования к метанольному раствору, содержащему метиловые эфиры и непрореагировавшие лактоны, добавляли избыток диазометана и оставляли на 24 часа. Затем метанольный раствор концентрировали до небольшого объема и применяли для газохроматографического анализа.

ТМС-производные оксикислот получали по методу Свила [7]. Для этого 0,1 г оксикислот растворяли в 0,5 мл пиридина. К раствору добавляли 2 мл гексаметилдисилазана и 1 мл триметилхлорсилана. Смесь перемешивали в течение 5 мин и центрифугировали от выпавшего NH_4Cl . Аликвотную часть центрифугата использовали для газохроматографического анализа.

При газохроматографическом анализе оксикислот испытывали следующие неподвижные фазы: апиезон L полиэтиленгликольадипат, 1,4-бутандиолсукцинат, полиэтиленгликоли с молекулярными весами 20000 и 40000. Наиболее удовлетворительно эфиры оксикислот были разделены при следующих условиях газохроматографического анализа:

для метиловых эфиров — хроматограф ХРОМ-21; хроматографическая колонка из нержавеющей стали длиной 3 м, с внутренним диаметром 3 мм; неподвижная фаза — полиэтиленгликоль ПЭГ-20 М, нанесенный в количестве 5% на силанизированный хромосорб G (80—100 меш); детектор пламенно-ионизационный; газ-носитель гелий, расход его 1,5 л/час. Во время анализа применяли программированный

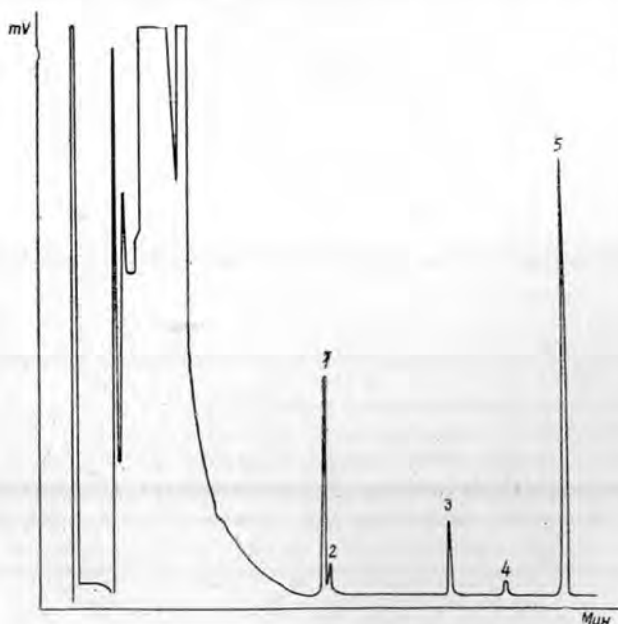


Рис. 1. Хроматограмма ТМС-эфиров оксикислот щелока.

1, 2 — гликолевая, молочная, α -оксимасляная; 3 — пеларгоновая (внутренний стандарт); 5 — $\text{C}_6\text{-C}_6$ — сахариновые кислоты.

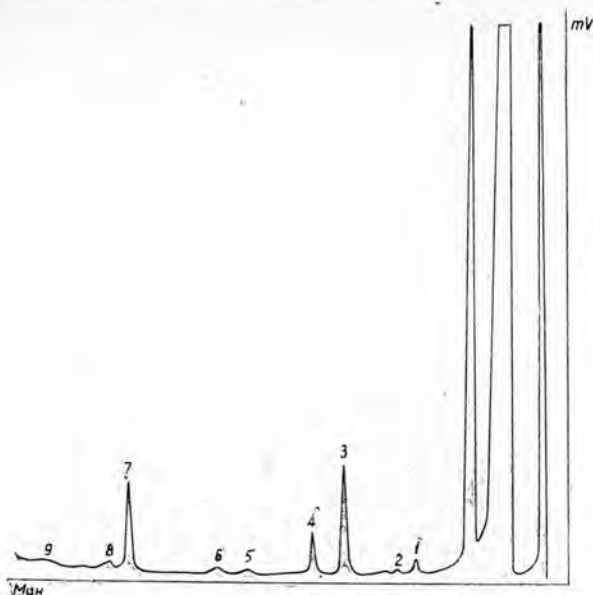


Рис. 2. Хроматограмма метиловых эфиров оксикислот щелока.

1 — α -оксимолочная; 3 — молочная; 4 — гликолевая;
7 — лауриновая кислота (внутренний стандарт).

нагрев хроматографической колонки от 70 до 230°C со скоростью 5°C/мин;

для силиловых эфиров — хроматограф Шимадзу GC-4ARTF; колонка стеклянная длиной 3 м, с внутренним диаметром 3 мм; неподвижная фаза — силиконовый эластомер SE-30, нанесенный в количестве 10% от веса силинизированного гезасорба; детектор пламенно-ионизационный; газ-носитель гелий, расход 2,4 л/час. Во время анализа осуществляли программированный нагрев колонки от 50 до 300°C со скоростью 10°C/мин.

Качественную идентификацию пиков хроматограмм осуществляли по искусственным смесям, состоящим соответственно из метиловых и ТМС-эфиров гликолевой, молочной, α -оксимасляной, α -оксиизомаляной, α -оксивалериановой, α -оксиизовалериановой, глицериновой и леулиновой кислот. Вследствие отсутствия чистых сахаринowych кислот при идентификации мы применяли их смеси, полученные путем щелочной деградации фруктозы, лактозы и ксилитозы [2] — [4].

Для количественной оценки хроматограмм применяли метод внутренних стандартов, в качестве которых использовали метиловый эфир лауриновой кислоты и ТМС-эфир пеларгоновой кислоты. Предложенный метод определения оксикислот в черном щелоке был проверен методом добавок. Установлено, что погрешность в определении простейших оксикислот не превышает $\pm 2,0\%$ (относительных). Поправочные коэффициенты и погрешность в определении сахаринowych кислот не были найдены из-за отсутствия чистых компонентов.

Газохроматографический анализ производных оксикислот показал, что в данных условиях разделения метиловые эфиры сахаринowych кислот трудно элюируются из хроматографической колонки, а ТМС-эфиры простейших оксикислот C_2 — C_5 выходят в виде общего пика.

Результаты газохроматографического анализа оксикислот щелока приведены в табл. 1 и на рис. 1 и 2.

Таблица 1

Кислоты	Содержание компонента в смеси оксикислот, %
Гликолевая	2,62
Молочная	6,35
α -оксимасляная	0,61
C_5 - и C_6 -сахариновые*	21,70

* Выход сахариновых кислот дан без учета поправочных коэффициентов, которые не были определены из-за отсутствия чистых компонентов.

Следовательно, оксикислоты сульфатного щелока от варки сосны представляют собой сложную смесь, насчитывающую до 10 компонентов.

В состав оксикислотно-лактонной смеси входят не менее 10% простейших оксикислот C_2 — C_4 и 20—25% сахариновых кислот.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Н. А. Иванов, Л. Г. Попова, В. Н. Пиялкин, Ю. И. Черноусов. ИВУЗ. «Лесной журнал» № 3, 1973. [2]. H. Kiliani. Ber., 15, 2953, 1882. [3]. H. Kiliani. Ber., 42, 3903, 1909. [4]. J. U. Nef. Ann., 78, 1, 1910. [5]. Spencer, Wright. J. Am. Chem. Soc., 63, № 7, 2017, 1941. [6]. Staudinger, Kupfer. Ber., 45, 505, 1912. [7]. C. C. Sweeley, R. Bentley, M. Makita, W. Wells. J. Am. Chem. Soc., 85, 2497, 1963.

Поступила 15 октября 1973 г.

УДК 665.654 : 634.086

СОСТАВ ПРОДУКТОВ ГИДРОКРЕКИНГА СУММАРНОГО МАСЛА ИЗ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА ЛИГНИНА

А. В. РАЧИНСКИЙ, Э. Д. ЛЕВИН

Сибирский технологический институт

Исследованы состав и свойства продуктов гидрокрекинга фракции лигниновой смолы, выкипающей до 370°C. Отгон катализатора до 280°C содержит 83% ароматических углеводов.

Суммарное масло, выделенное из лигниновой смолы, подвергали гидрокрекингу с целью получения бессернистых низкокипящих ароматических углеводов, потребность в которых постоянно растет [2], [6].

Гидрокрекинг осуществляли на установке проточного типа [3] с использованием промышленного алюмокобальтмолибденового катализатора по разработанному нами оптимальному режиму [5], обеспечивающему максимальный выход целевого продукта — ароматических углеводов, выкипающих до 280°C. Оптимальный режим характеризуется следующими значениями технологических параметров: температура в реакционной зоне 490°C; давление водорода 45 атм; объемная скорость подачи сырья 0,8 час⁻¹; соотношение водорода к сырью равно 1200 л/л; отношение сырье : разбавитель (бензол) как 9 : 1. В ка-

честве сырья для гидрокрекинга использовали фракцию смолы пиролиза лигнина, выкипающую до 370°C [4].

Полученный катализат исследовали как по стандартным методам, применяемым в нефтехимической и коксохимической промышленности, так и с помощью адсорбционной, газо-жидкостной аналитической и препаративной хроматографии и ИК-спектроскопии.

Общие физико-химические характеристики катализата приведены в табл. 1, из данных которой видно, что в катализате практически отсутствуют кислородсодержащие, сернистые и непредельные соединения. Поскольку исходное сырье содержит лишь кислородные соединения, углеводороды и незначительное количество сернистых соединений, то можно утверждать, что полученный катализат целиком состоит из ароматических и парафино-нафтеновых углеводородов. Это свидетельствует о высокой активности (в данных условиях) алюмокобальтмолибденового катализатора к деструктивно-восстановительным реакциям, а также к реакциям гидрирования и превращения сернистых соединений в газообразные продукты; последние выносятся из реактора с реакционными газами.

Таблица 1

Характеристики катализата	Численные значения характеристик
Плотность при 20°C, г/см ³	0,954
Молекулярная масса	127,2
Показатель преломления, n_D^{20}	1,5318
Йодное число, мг/г	0,0
Содержание серы, % вес.	Не обнаружена
Элементный состав, %:	
С	91,86
Н	8,10
О	—

При хроматографическом анализе катализата идентифицировано 76 пиков, из них 31 соответствует ароматическим углеводородам. Отгон до 280°C составляет 41,6% от сырья и содержит около 83% ароматических углеводородов (табл. 2). Среди них преобладают толуол, этилбензол, ксилолы, нафталин и его метилпроизводные. Парафино-нафтены сконцентрированы в легких погонах. Они представлены главным образом изопарафинами и метилпроизводными циклопентана.

Дополнительными опытами установлено, что при коэффициенте рециркуляции непревращенного остатка (фракция катализата, выкипающая выше 280°C), равном 1,322, сырье перерабатывается полностью. При этом выход углеводородов, выкипающих до 280°C, составляет 51,0% от сырья. В катализате содержится 85,3% ароматических углеводородов.

Следовательно, выход целевого продукта при безостаточной переработке суммарного масла составил 43,5%.

Результаты проведенных исследований позволяют ранее предложенную схему комплексной переработки гидролизного лигнина [1] дополнить процессом получения сырого бензола на базе гидрокрекинга суммарного масла, выделяемого из смолы.

Расчет экономической эффективности применительно к промышленному производству на Хакасском гидролизном заводе показывает, что получение продуктов по предлагаемой технологии экономически выгодно: рентабельность производства составляет 37,6%, срок окупаемости капиталовложений — 2,6 года.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 658.5

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ
В ЗАДАЧАХ ТЕКУЩЕГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОАСУ

Ю. И. ДУХОН, Ю. Г. ПАВЛОВ

Московский лесотехнический институт

Предложено использовать теорию полезности для принятия решений при упорядочении критериев оптимизации текущего планирования в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП). Неопределенность, присущая процессу составления матриц полезностей, учитывается моделированием с помощью непрерывных случайных переменных. Разработанный алгоритм позволил упорядочить критерии оптимизации текущего планирования в ЦБП.

Одна из важнейших задач, возникающих при моделировании экономических систем, — выбор критерия оптимизации и выявление функциональных связей между его показателями и внешними ограничениями. С точки зрения разработки эффективных моделей экономических подсистем и систем в целом критерий следует выбирать с учетом как народнохозяйственных интересов (глобальное планирование), так и интересов данной отрасли (локальное планирование).

В связи с этим задача о выборе критерия оптимизации на практике распадается на две: первая состоит в определении критерия с позиции специфики отрасли, ее взаимосвязей с другими отраслями, места в общей системе народного хозяйства; вторая — в выяснении соответствия и непротиворечивости выбранных критериев народнохозяйственному оптимуму.

Ниже рассматриваются основные аспекты реализации этих задач на базе теории решений.

А. Методология принятия решений

Ситуация, в которой происходит принятие решений, характеризуется следующими основными чертами:

1) наличие цели. В нашем случае цель, сформулированная в общем виде, — повышение качества и эффективности планирования в подсистеме текущего планирования ОАСУ (отраслевой автоматизированной системы управления);

2) наличие альтернативных линий поведения. В рассматриваемом случае альтернативами являются возможные критерии оптимизации текущего планирования;

3) учет определяющих факторов, влияющих на выбор альтернатив.

Теория принятия решений имеет дело с выбором стратегий с целью оптимизации вероятности получения максимального значения по некоторой шкале, называемой шкалой полезности. Теория полезности основана на предположении, что существует некоторое число $U(A)$, которое можно поставить в соответствие с любой возможной альтернативой A и которое показывает полезность этой альтернативы. В теории полезности предполагается, что люди (специалисты в данной области), сталки-

Таблица 2

Состав фракции катализата,
выкипающей до 280°C

Соединения	Численное содержание соединения в отгоне до 280°C, % вес.
Бензол	1,98
Толуол	19,82
Этилбензол	5,12
П-ксилол	1,98
М-ксилол	5,56
О-ксилол	2,34
Кумол	0,46
Пропилбензол	1,48
М-этилтолуол + п-этилтолуол	3,06
О-этилтолуол	0,89
Псевдокумол	0,35
Вторичный бутилбензол	2,58
Дурол	0,29
Изодурол	0,47
Пренитол	1,10
Тетралин	2,32
Нафталин	7,28
Пентаметилбензол	0,88
2-метилнафталин	4,22
1-метилнафталин	1,75
Дифенил	1,78
2,6 + 2,7-диметилнафталин	1,33
1,3 + 1,6-диметилнафталин	1,46
1,5 + 2,3-диметилнафталин	0,49
1-пропилнафталин	1,31
Аценафтен	0,91
Дифениленоксид	0,32
Флуорен	0,24
Парафино-нафтенy	17,40
Неидентифицированные ароматические углеводороды	10,83

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Э. Д. Левин, Л. П. Ажар, Б. Р. Эйнус. Сб. «Химия древесины». Рига, изд-во «Зинатне», № 1, 1968, 295. [2]. М. С. Литвиненко, А. К. Шелков. «Кокс и химия» № 11, 1968, 27—30. [3]. А. В. Рачинский, С. М. Репях. «Лесохимия и подсочка» № 11, 1971, 13—14. [4]. А. В. Рачинский. Материалы конференции по итогам научно-исследовательских работ (секция органической химии). Красноярск, 1971, 12—15. [5]. А. В. Рачинский. Автореферат диссертации. Красноярск, 1972. [6]. Э. И. Эльберт, В. А. Титушкин. Переработка твердого топлива, вып. 2, Новокузнецк, 1970, 253—265.

Поступила 20 октября 1973 г.

ваясь с возможными событиями (исходами), могут принять решение о предпочтительности. Основной этап в теории полезности — составление матриц полезностей путем логичного опроса специалистов.

Прежде чем выбрать какой-либо метод шкалирования суждений специалистов, прибегают к базисному эксперименту [4], позволяющему сделать суждения человека эксплицитными и проверить, согласуются ли они друг с другом. Матрицы полезностей на первом этапе субъективны, и важнейшей задачей является их согласование и объективизация. Методы согласования и объективизации при аддитивных альтернативах приведены в ряде работ [1], [5].

Составление матриц полезностей, в соответствии с существующей методикой принятия решений [2], приводит в рассматриваемой задаче к необходимости оценивать предпочтительность альтернатив (критериев оптимизации) в зависимости от определяющих факторов по отдельности, что искусственно. Кроме того, если бы такую матрицу и удалось составить, то методы согласования и объективизации были бы не применимы к ней вследствие невыполнения необходимого в этих методах условия аддитивности альтернатив.

Значительно проще и логичнее в качестве первого шага составить «обратную» матрицу, в которой каждый элемент определяется путем присвоения каждому определяющему фактору определенного веса в выборе данного критерия. Для оценки значимости факторов выбираем интервал (0,1), а также принимаем аксиомы теории вероятностей как условия, в соответствии с которыми происходит назначение весов.

Переход к обратной матрице позволяет для объективизации и логической согласованности суждений специалистов использовать метод Черчмен — Акофа, так как для весов определяющих факторов в рассматриваемом случае справедливо уравнение

$$U(O_n) + U(O_m) = U(O_n + O_m), \quad (1)$$

где $U(O_m)$ и $U(O_n)$ — полезности (веса) определяющих факторов O_m и O_n .

Веса, являющиеся элементами обратной матрицы, можно интерпретировать как условные априорные вероятности событий O_j (определяющих факторов при условии, что имеет место событие A_i (критерий оптимизации — альтернатива). Следовательно, обратную матрицу можно представить в виде

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{k1} & b_{k2} & \dots & \dots & b_{kn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p(O_1/A_1) & p(O_1/A_2) & \dots & p(O_1/A_n) \\ p(O_2/A_1) & p(O_2/A_2) & \dots & p(O_2/A_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p(O_k/A_1) & p(O_k/A_2) & \dots & p(O_k/A_n) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Для выбора наиболее предпочтительной альтернативы и упорядочения альтернатив необходимо от матрицы (2) перейти к прямой матрице. Воспользуемся теоремой Байеса, позволяющей определить вероятности $p\left(\frac{A_i}{O_j}\right)$ — элементы прямой матрицы — через вероятности $p\left(\frac{O_j}{A_i}\right)$ — элементы матрицы B — по формуле

$$a_{ij} = p(A_i/O_j) = b_{ji} \frac{p(A_i)}{p(O_j)} = \frac{p(O_j/A_i) p(A_i)}{p(O_j)}, \quad (3)$$

где $p(A_i)$ — априорная вероятность (вес) альтернативы A_i ;
 $p(O_j)$ — вероятность (вес) определяющего фактора O_j ;
 a_{ij} — элемент прямой матрицы;

$$p(O_j) = \sum_{i=1}^n p(O_j/A_i) p(A_i).$$

Заметим, что в нашей интерпретации понятие вероятности ассоциируется не с относительными частотами появления события, а с определенным поведением человека при принятии решений. Применяя термин «вероятность», мы подразумеваем веса, выражающие мнения специалистов.

После построения объективизированной матрицы полезностей упорядочение альтернатив осуществляется минимизацией ожидаемых «потерь» [1], путем определения математического ожидания потерь по каждой альтернативе

$$E[U(A_i)] = \sum p_j U(A_i)_j, \quad (4)$$

где $U(A_i)_j = a_{ij}$ — полезность альтернативы A_i при условии O_j ;
 p_j — априорный вес j -того определяющего фактора.

Б. Учет неопределенности при принятии решений

Наиболее существенное звено в предложенном выше алгоритме — шкалирование суждений специалистов и составление на этой основе матриц полезностей. К процессу оценки привлекаются различные специалисты, полагающиеся при шкалировании на свою интуицию. Содержание полученных оценок сводится к однозначным предсказаниям, и вся неопределенность, присущая вычислению весов, исключается из рассмотрения. Для учета неопределенности ниже предлагается моделирование случайными непрерывными переменными.

Мы полагаем, что оценки m_{ajt}^i , данные группой из q опрашиваемых специалистов данному определяющему фактору (элементу b_{ji}), являются случайными числами, распределенными по одному из законов распределения непрерывных случайных величин. Итоговую априорную (в нашем случае полученную до процедуры согласования) оценку m_{aj}^i можно определить как математическое ожидание случайной величины

$$m_{aj}^i = \frac{1}{q} \sum_{t=1}^q m_{ajt}^i. \quad (5)$$

В работе [4] указано, что при моделировании неопределенности (при числе альтернатив более двух) можно воспользоваться нормальным законом распределения $\Theta(m, v)$.

Мы моделируем рассматриваемое явление, принимая его за случайный процесс, который порождает последовательность независимых нормально распределенных величин. Выражая неопределенность математического ожидания m_{aj}^i оценки (веса) b_{ji} , рассмотрим m_{aj}^i как случайную величину, имеющую априорное распределение с математическим ожиданием m_{aj}^i и дисперсией v_{aj}^i . Следовательно, априорная вероятность

$$pR(m_j^i) = \Theta(m_{aj}^i, v_{aj}^i). \quad (6)$$

В результате процедуры согласования, в соответствии с методом Черчмен — Акофа, получаем выборку результатов основного процесса. Среднее значение этой выборки по каждому определяющему фактору j

$$m_{cpj}^i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^l \sum_{t=1}^q m_{ktj}^i; \quad n = ql. \quad (7)$$

В уравнении (7) l — число оценок одного эксперта по данному определяющему фактору после процедуры согласования. Среднее значение выборки подчиняется тому же закону распределения, что и априорное распределение [4]. Для любого фиксированного значения математического ожидания m_j^i функция правдоподобия имеет вид [4]

$$L_k(m_{cpj}^i | m_j^i) = \Theta(m_j^i, v_j^i/n). \quad (8)$$

Роль процедуры согласования состоит в преобразовании априорного математического ожидания веса данного определяющего фактора j на выбор данной альтернативы i в апостериорное ожидание pO , в соответствии с теоремой Байеса,

$$pO(m_j^i | m_{cpj}^i) = \frac{L_k(m_{cpj}^i | m_j^i) pR(m_j^i)}{p(m_{cpj}^i)}, \quad (9)$$

$$\text{где } m_{cpj}^i = \int_{m_j^i} L_k(m_{cpj}^i | m_j^i) pR(m_j^i) dm_j^i.$$

Для плотности распределения при нормальном законе имеем

$$\Theta(m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi v}} \exp\left[-\frac{(m - \eta)^2}{2v}\right], \quad (10)$$

где η — математическое ожидание;
 v — дисперсия.

В соответствии с методологией исследования и данными работы [4], для плотности априорного распределения pR , функции правдоподобия при реализовавшемся m_{cpj}^i и плотности апостериорного распределения pO получили

$$pR(m_j^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi v_{aj}^i}} \exp\left[-\frac{(m_j^i - m_{aj}^i)^2}{2v_{aj}^i}\right];$$

$$L_k(m_{cpj}^i | m_j^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi v_j^i/n}} \exp\left[-\frac{(m_{cpj}^i - m_j^i)^2}{2v_j^i/n}\right];$$

$$pO(m_j^i | m_{cpj}^i) = \frac{\exp\left[-\frac{(m_j^i - m_{aj}^i)^2}{2v_{aj}^i}\right] \cdot \exp\left[-\frac{(m_{cpj}^i - m_j^i)^2}{2v_j^i/n}\right]}{2\pi \sqrt{\frac{v_{aj}^i \cdot v_j^i}{n}} \int_{m_j^i} pR(m_j^i) L_k(m_{cpj}^i | m_j^i) dm_j^i} = \frac{e^{-\xi}}{D}, \quad (11)$$

$$\text{где } D = 2\pi \sqrt{\frac{v_{aj}^i \cdot v_j^i}{n}} \int_{m_j^i} pR(m_j^i) L_k(m_{cpj}^i | m_j^i) dm_j^i;$$

$$\xi = \frac{(m_j^i - m_{aj}^i)^2}{2v_{aj}^i} + \frac{(m_{cpj}^i - m_j^i)^2}{2v_j^i/n}.$$

*В. Упорядочение критериев оптимизации
текущего планирования
в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП)*

Последовательность действий полностью соответствовала изложенной выше методологии принятия решений с учетом неопределенности. В качестве специалистов авторы привлекали ведущих работников планово-экономического управления (ПЭУ) Министерства ЦБП СССР, так как именно они решают задачи планирования в отрасли при существующей системе планирования. Всего в опросе участвовало 27 экспертов: начальник ПЭУ, начальники и сотрудники отделов ПЭУ.

На первом этапе опроса были выявлены определяющие факторы и возможные критерии оптимизации в ЦБП (альтернативы). Затем на основе результатов первого этапа были построены таблицы в соответствии с методом Черчмен—Акофа [5], и на втором этапе опрос осуществлялся в соответствии с требованиями таблиц. Далее результаты математически обрабатывали в соответствии с изложенной выше методологией.

В результате опроса специалистов ПЭУ Министерства ЦБП выявлены следующие определяющие факторы: производственные мощности; основное сырье; вспомогательное сырье; данные от подсистемы перспективного планирования о развитии отрасли и потребностях народного хозяйства в продукции отрасли; директивные указания Госплана СССР; водные ресурсы; трудовые ресурсы; топливно-энергетические ресурсы.

В результате выполнения работы, в соответствии с предложенной методикой, было установлено, что головной (наиболее предпочтительный) критерий оптимизации текущего планирования ЦБП — критерий на максимум производства наиболее дефицитных видов продукции. Далее по убыванию степени предпочтительности критерии располагали следующим образом: максимум производительности труда; максимум выпуска товарной продукции; минимум текущих затрат; максимум загрузки оборудования; максимум прибыли.

В соответствии с исследованиями [3], [6], эти критерии можно использовать на нижних уровнях планирования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Р. Акоф, М. Сасиени. Основы исследования операций. Изд-во «Мир», 1971. [2]. Д. Ж. Диксон. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. Изд-во «Мир», 1969. [3]. Б. И. Искаков. Критерии оптимальности в задачах отраслевого планирования. В сб. «Вычислительная техника в сельском хозяйстве». Изд-во «Статистика», М., 1968. [4]. У. Моррис. Наука об управлении. Изд-во «Мир», 1971. [5]. Д. Ж. фон Нейман, О. Маргенштерн. Теория игр и экономическое поведение. Изд-во «Наука», 1970.

Поступила 22 октября 1973 г.

УДК 65.011.56

СИСТЕМЫ С ГРУППОВЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ
В ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Н. Ф. КОВАЛЕВ, И. В. ТУРЛАЙ

Белорусский технологический институт

Лесозаготовительные процессы рассматриваются как системы с групповым обслуживанием. Аппроксимируя реальные процессы марковскими, получили аналитические выражения, характеризующие емкость межоперационных запасов (буферных магазинов), которые направлены на перекрытие неравномерности в производительности смежных механизмов и простоя одного из них.

Лесозаготовительный процесс складывается из ряда операций, которые в совокупности составляют законченный этап производственного технологического потока. Поток функционирует в условиях воздействия совокупности случайных факторов при случайных поступлениях предметов труда — хлыстов, деревьев с кронами, сортиментов или их пачек.

Любой технологический поток представляет собой систему производственного оборудования. Производственный процесс лесопромышленного предприятия вполне приемлемо аппроксимировать пуассоновскими потоками. Это дает возможность получить аналитические выражения параметров функциональных потоков, достаточно удобных для практических расчетов. Если процесс, протекающий в системе, не является пуассоновским, то его часто можно анализировать следующим образом:

1) методом псевдосостояний, если число состояний системы не очень велико, а отличающиеся от простейших (ординарные, отсутствие последствия) потоки событий представляют собой потоки Эрланга. (Поток Эрланга получается в случае, если в простейшем потоке сохранить каждую k -тую точку, а остальные выбросить. Тогда, вводя в схему возможных состояний фиктивные, то есть увеличивая число состояний, можно свести немарковский процесс к марковскому [1]);

2) методом вложенных цепей Маркова. Процесс, характеризующийся двумя или несколькими распределениями независимых величин, можно описать с помощью третьего распределения, которое получено из двух исходных.

Последовательность указанных случайных величин образует вложенную марковскую цепь [2].

В качестве примера использования пуассоновского потока рассмотрим работу карманов-накопителей, в которые поступают сортименты от бревнотаски. Входящим потоком для системы карман-накопитель — кран является поток сортиментов, характеризующийся интенсивностью

$$\lambda_i = \lambda(t) \text{ сорт./мин,}$$

где

$$\lambda_i = \lambda p_i;$$

λ — интенсивность поступления сортиментов на сортировочный транспортер;

p_i — вероятность сброса в накопитель.

Выходящий поток — поток пакетов сортиментов, убираемых из накопителя краном. Интенсивность потока

$$\mu_i = \mu(t).$$

Особенность функционирования рассматриваемой системы — единый входящий поток сортиментов и групповое обслуживание. Принимая во внимание пуассоновский характер действующих потоков, считаем, что процесс в системе является марковским. Система может находиться в одном из следующих состояний:

X_0 — карман свободен;

X_1 — один сортимент в кармане;

X_2 — два сортимента в кармане;

X_m — m сортиментов в кармане, состояние полной загрузки.

Граф состояний подобной системы представлен на рис. 1. От свободного состояния X_0 к состоянию X_m систему переводит поток сортиментов с интенсивностью $\lambda_i = \lambda(t)$. Из состояния X_m полной загрузки в состояние свободное X_0 система переходит с выпрузкой пакета сортиментов краном с интенсивностью $\mu_i = \mu(t)$; p_0, p_1, \dots, p_m — вероятности нахождения системы в соответствующих состояниях.

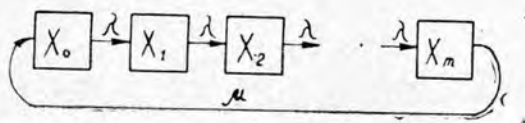


Рис. 1.

Для системы карман — накопитель система дифференциальных уравнений имеет вид

$$\frac{dp_0}{dt} = -\lambda p_0 + \mu p_m;$$

$$\frac{dp_1}{dt} = \lambda p_0 - \lambda p_1;$$

$$\frac{dp_2}{dt} = \lambda p_1 - \lambda p_2;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\frac{dp_m}{dt} = \lambda p_{m-1} - \mu p_m.$$

Для решения системы при $t = 0$, $p_0 = 1$, начальные условия

$$p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_m = 0.$$

Для любого момента времени t решение системы должно соответствовать условию

$$\sum_{i=0}^m p_i(t) = 1.$$

Расчет емкости кармана-накопителя приемлемо вести, исходя из величин μ и λ , определенных по формулам

$$\lambda = \frac{1}{t_1}; \quad \mu = \frac{1}{t_2},$$

где t_1 — среднее время между поступлениями сортиментов в один карман;

t_2 — среднее время между уборками пакетов из карманов.

Приравняв левые части уравнений системы к нулю, получим

$$\lambda p_0 = \mu p_m;$$

$$\lambda p_0 = \lambda p_1;$$

$$\lambda p_1 = \mu p_2;$$

$$\dots$$

$$\lambda p_{m-1} = \mu p_m;$$

$$p_0 = p_1 = p_2 = \dots = p_{m-1}; \quad p_0 + p_1 + \dots + p_m = 1.$$

Вероятности нахождения системы в состояниях p_0, p_1, \dots, p_{m-1} определяем как

$$p_0 = p_1 = \dots = p_{m-1} = \frac{\frac{1}{\lambda}}{m \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}}; \quad p_m = \frac{\frac{1}{\mu}}{m \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}}.$$

Вероятность того, что сортимент, поданный транспортером, поступит в карман

$$P_k = \sum_{i=0}^{m-1} p_i = m \frac{\frac{1}{\lambda}}{m \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}}.$$

Величина p_m представляет собой вероятность состояния, при котором до полного заполнения не достаёт одного бревна.

Следовательно, вероятность полного заполнения

$$p_m = 1 - \sum_{i=0}^{m-1} p_i.$$

Эта величина представляет собой и вероятность простоя транспортера из-за заполнения кармана $P_{\text{п}}$

$$P_{\text{п}} = \frac{\frac{1}{\mu}}{m \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}}.$$

Действительная производительность системы применительно к одному корману-накопителю

$$П = \lambda \cdot P_k = \lambda \sum_{i=0}^{m-1} p_i = \frac{m}{m \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}} \text{ сорт./мин.}$$

Необходимую среднюю емкость кармана для получения действительной производительности $П$ вычисляют по формуле

$$m = \frac{П \cdot \lambda}{\mu (\lambda - П)} \text{ сорт.}$$

Емкость кармана

$$Q = \frac{\Pi \cdot \lambda}{\mu (\lambda - \Pi)} \cdot V_c \cdot k \text{ м}^3,$$

где V_c — средний объем сортимента для данного кармана-накопителя;
 k — коэффициент неплотности укладки сортиментов в кармане.

Рассмотрим функционирование системы валка — трелевка. Повал единичных деревьев и подготовка их к трелевке есть входящий поток с интенсивностью $\lambda_i = \lambda(t)$. На лесосеке может быть повалено и подготовлено, в зависимости от способа валки, m деревьев. Трелевка ведется тракторами с интенсивностью $\mu_i = \mu(t)$. Трактор имеет возможность трелевать пакет из k деревьев. Имеем случай, когда обслуживание производится группами. Состояние системы следующее:

X_0 — нет подготовленных к трелевке хлыстов;

X_1 — один хлыст на лесосеке;

X_2 — два хлыста на лесосеке;

.....
 X_m — m хлыстов подготовлено к трелевке.

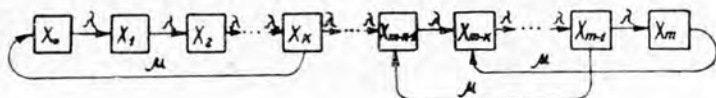


Рис. 2

Граф состояний системы приведен на рис. 2. Слева направо система переводится потоком поступающих хлыстов. Справа налево — потоком трелюемых пакетов хлыстов с интенсивностью μ . Если система без отклонений пополняется хлыстами, то к моменту начала трелевки следующего пакета из k хлыстов имеем состояние системы X_m . Процесс описывается графом рис. 3. В случае простоя в процессе валки, к моменту подачи трактора, на лесосеке может находиться X_i хлыстов. Система с интенсивностью μ перейдет в состояние X_{i-k} . При числе хлыстов k меньше необходимого трактор простаивает.

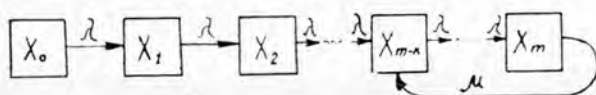


Рис. 3

При рассмотрении установившегося процесса из системы дифференциальных уравнений

$$\frac{dp_0}{dt} = -\lambda p_0;$$

$$\frac{dp_1}{dt} = \lambda p_0 - \lambda p_1;$$

$$\dots$$

$$\frac{dp_{m-k}}{dt} = \lambda p_{m-k-1} + \mu p_m - \lambda p_{m-k};$$

$$\frac{dp_{m-k+1}}{dt} = \lambda p_{m-k} - \lambda p_{m-k+1};$$

$$\dots$$

$$\frac{dp_m}{dt} = \lambda p_{m-1} - \mu p_m$$

при начальных условиях

$$p_0(0) = 1; \quad p_1(0) = p_2(0) = \dots = p_m(0) = 0$$

получим алгебраические уравнения вероятностей состояний системы

$$p_m = \frac{\frac{1}{\mu}}{m \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}},$$

где p_m — вероятность того, что валку можно не продолжать, так как создан достаточный запас хлыстов m .

Вероятность того, что возможен повал и подготовка деревьев к трелевке,

$$P_p = \frac{m \frac{1}{\lambda}}{m \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}} = 1 - p_m.$$

Вероятность простоя трактора из-за нехватки хлыстов для полной загрузки

$$P_{np} = \sum_{i=0}^{k-1} p_i(t) = (k-1) \frac{\frac{1}{\lambda}}{(k-1) \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}}.$$

Приведенные выражения, описывающие состояние системы с групповым обслуживанием хлыстов или сортиментов, дают возможность определить оптимальные параметры функционирования систем с принятыми интенсивностями входящих и выходящих потоков и потребными производительностями.

Пример. Интенсивность поступления сортиментов в i -тый карман-накопитель $\lambda = 1,063$ сорт./мин; среднее время между уборками пакетов из кармана $t = 33$ мин;

$$\mu = \frac{1}{t} = \frac{1}{33} = 0,033 \text{ пакета/мин.}$$

Емкость кармана определяем из формулы

$$Q = \frac{\Pi \cdot \lambda}{\mu(\lambda - \Pi)} \cdot V_c \cdot k.$$

Учитывая случайный характер μ и λ , находим, что Π имеет также вероятностную природу со своим максимумом в распределении. Допустим, что $\frac{\Pi}{\Pi_{max}} = 0,8$, тогда необходимая производительность $\Pi = 0,8$.

$$\Pi_{max} = 0,8 \cdot 1,063 = 0,85 \text{ сорт./мин; } k = 1,2; \quad V_c = 0,1 \text{ м}^3.$$

Средняя емкость кармана

$$Q = \frac{1,063 \cdot 0,85}{0,033(1,063 - 0,85)} \cdot 0,1 \cdot 1,2 = 15,43 \text{ м}^3.$$

Следовательно, необходимо использовать два кармана-накопителя.

Допустим, что интенсивность уборки карманов — статистическая величина со средним значением $\mu = 0,033$ при значениях $\mu_{min} = 0,023$, $\lambda_{min} = 0,8$ и $\mu_{max} = 0,043$, $\lambda_{max} = 1,5$, установленных с вероятностью 0,9.

Емкость кармана, определенная при λ_{max} и μ_{min}

$$Q = \frac{1,5 \cdot 0,85}{0,023(1,5 - 0,85)} = 10,26 \text{ м}^3.$$

Для конструкторских расчетов необходимо пользоваться максимальным значением полученной емкости. При технологических расчетах следует применять эту же величину емкости, так как она получена при средних значениях μ и λ .

Оптимальные параметры элементов производственных систем, в том числе объем и количество карманов-накопителей, следует уточнить на основании сравнения технико-экономических показателей для всей системы, а не только для отдельных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Е. С. Вентцель. Исследование операций. Изд-во «Советское радио», М., 1972. [2]. Н. Прабху. Методы теории массового обслуживания и управления запасами. Изд-во «Машиностроение», М., 1969.

Поступила 10 сентября 1973 г.

УДК 65.011.56

К РАСЧЕТУ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРОДОЛЬНО ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

В. Ф. ПОДОСЕНОВ, А. Б. ИЗРАЕЛИТ

Ленинградская лесотехническая академия

Изложены результаты теоретического анализа условий нагружения пиломатериалов, выведена формула определения модуля упругости с учетом свесов, определена величина методической ошибки.

Визуальная сортировка конструкционных пиломатериалов субъективна в оценке их качества, характеризуется низкой производительностью, требует привлечения квалифицированных рабочих-бракеров, не поддается автоматизации. Отмеченные недостатки можно преодолеть, если качество конструкционных пиломатериалов оценивать по объективным прочностным характеристикам, получаемым автоматически при прочностной сортировке методом силового изгиба [2]. Сортированные по прочности конструкционные материалы найдут применение в строительстве при изготовлении клееных несущих конструкций, а также при поставках на экспорт.

На кафедре автоматики Ленинградской лесотехнической академии разработана автоматизированная установка для прочностной сортировки конструкционных пиломатериалов при их непрерывном перемещении, позволяющая пропускать пиломатериалы длиной больше 1,5 м при поперечных сечениях по ГОСТу 8486—66.

При отсутствии транспортеров, обеспечивающих подачу и выход пиломатериалов в сортирующую установку, необходимо влияние свесов учитывать моментами M_1 и M_4 (рис. 1) на опорах 1 и 4. Для этого случая составим систему уравнений (1), используя теорему о трех моментах [1],

$$\begin{cases} M_1 a + 2M_2(a+l) + M_3 l = 6(A_{\Phi_2-3, p} + B_{\Phi_1-2, q} + A_{\Phi_2-3, q}); \\ M_2 l + 2M_3(a+l) + M_4 a = 6(B_{\Phi_2-3, p} + A_{\Phi_3-4, q} + B_{\Phi_2-3, q}), \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{где } M_1 = G_b \cdot \frac{b}{2}; \quad M_4 = G \cdot \frac{c}{2}; \quad A_{\Phi_2-3, p} = B_{\Phi_2-3, p} = \frac{p \cdot l^2}{16};$$

$$A_{\Phi_2-3, q} = B_{\Phi_2-3, q} = \frac{q l^3}{24}; \quad A_{\Phi_3-4, q} = B_{\Phi_3-4, q} = \frac{q a^3}{24};$$

G_b и G_c — веса свесов;
 b и c — длины свесов;

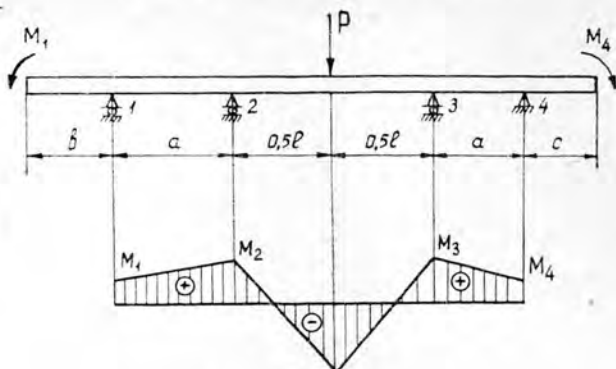


Рис. 1. Учет влияния свесов G_b и G_c

a — расстояние между ведущими роликами;

l — нагружаемый пролет;

$A_{\Phi_2-3, p}$ и $B_{\Phi_2-3, p}$ — фиктивные реакции опор под воздействием нагружающей силы p на пролете 2—3;

$B_{\Phi_1-2, q}$; $A_{\Phi_2-3, q}$; $B_{\Phi_2-3, q}$; $A_{\Phi_3-4, q}$ — фиктивные реакции опор под воздействием распределенного собственного веса пиломатериала q на пролетах 1—2, 2—3, 3—4.

Решая систему уравнений (1) относительно моментов M_2 и M_3 , получим

$$M_2 + M_3 = \frac{(2a + l) [3pl^2 + 2q(a^3 + l^3) - 2a(G_b \cdot b - G_c \cdot c)]}{16a^2 + 32al + 12l^2}.$$

Отсюда модуль упругости $E_{p, q}$, с учетом свесов,

$$E_{p, q} = \frac{\frac{pl^3}{48} - \frac{0,0641l^2(2a + l)}{16a^2 + 32al + 12l^2} [3pl^2 + 2q(a^3 + l^3) - 2a(G_b \cdot b - G_c \cdot c)]}{\Delta}, \quad (2)$$

где $I = \frac{BH^3}{12}$ — момент инерции сечения пиломатериала;

B — ширина пиломатериала;

H — толщина пиломатериала;

Δ — прогиб пиломатериала.

Полученная формула (2) справедлива для статического нагружения. В случае продвижения пиломатериала через установку следует ввести коэффициент динамичности K_d , вычислить который удастся лишь в результате трудоемкого и длительного анализа. Гораздо проще определить K_d из эксперимента.

Нами был произведен численный анализ формулы (2) для определения влияния параметров схемы нагружения на модуль упругости E . Оказалось, что распределенный собственный вес доски q (вплоть до 9,5 кг/м) не оказывает влияния на величину модуля упругости E при постоянных прочих параметрах (расчеты производили на ЭВМ «Проминь»); разнотолщинность и разноширинность доски существенно влияют на момент инерции I и соответственно на модуль упругости E , что становится ясным из следующих преобразований:

обозначим

$$E = \frac{S}{I \cdot \Delta}, \quad (3)$$

$$\text{где } S = \frac{pl^3}{48} - \frac{0,0641l^2(2a+l)}{16a^2+32al+12l^2} [3pl^2 + 2q(a^3+l^3) - 2a(G_b \cdot b - G_c \cdot c)].$$

Дифференцируя уравнение (3) и учитывая, что изменяется только момент инерции I и модуль упругости E , получим

$$\frac{dE}{E} = \frac{dI}{I} = \frac{dB}{B} + \frac{3dH}{H}$$

или

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta B}{B} + \frac{3\Delta H}{H}. \quad (4)$$

Расчеты показывают, что допустимые отклонения от установленных размеров пиломатериалов по ГОСТу 8486—66 приводят к появлению методической ошибки при измерении модуля упругости E , достигающей в худшем случае 50%.

Например, если для $H = 13$ мм

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{13 + 1 - (13 - 1)}{13} \cdot 100 \approx 15\%;$$

а для $B = 110$ мм

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{110 + 3 - (110 - 3)}{110} \cdot 100 \approx 5\%.$$

то

$$\frac{\Delta E}{E} = 5 + 3 \cdot 15 \approx 50\%.$$

Избежать методической ошибки можно, если измерять не модуль упругости E для данного стандартного сечения пиломатериалов, а жесткость $E \cdot I$. Автоматическое измерение жесткости позволит сортировать пиломатериалы по прочности согласно принятым градациям.

Влияние свесов доски G_b и G_c оказалось значительным, достигающим 7—10% при определении модуля упругости E или жесткости $E \cdot I$. Избавиться от этого влияния можно, если подавать пиломатериалы в установку и принимать их из установки через транспортеры или направляющие плоскости.

ЛИТЕРАТУРА

[1].-С. П. Тимошенко. Колебание в инженерном деле. Государственное издательство строительной литературы, М., 1959. [2]. В. Ф. Подосенов. К вопросу автоматизации прочностной сортировки пиломатериалов. Механическая переработка древесины. Научные труды № 151, ЛТА, Л., 1972.

Поступила 5 ноября 1973 г.

УДК 676.082.4 : 62-533.65

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ В УСЛОВИЯХ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

А. Н. СНИЯКОВ, Л. Н. СЕЛЯНИНОВА, А. И. ЮРОВ

Ленинградский технологический институт ЦБП

Статья посвящена анализу работы системы автоматического регулирования (САР) температуры перегретого пара содорегенерационного парогенератора в условиях случайных возмущений. Показано, что с точки зрения достаточной точности регулирования (минимума дисперсии регулируемого параметра) одноимпульсная схема САР неприемлема, поэтому требуется ввести дополнительные корректирующие сигналы.

При нормальном режиме эксплуатации содорегенерационный парогенератор (СРПГ) работает в условиях непрерывных возмущений со стороны топки и потребителя пара. Исследования на ТЭС-2 Котласского ЦБК показали, что на значительном промежутке времени эти возмущения носят случайный характер и с достаточной степенью точности могут считаться стационарными. В связи с этим синтез систем автоматического регулирования (САР) СРПГ, в том числе САР температуры перегретого пара, целесообразно производить с использованием статистических критериев.

Один из важнейших параметров, характеризующий качество регулирования, — величина дисперсии D_y на выходе системы (или среднеквадратичная ошибка σ_y). Параметры САР следует выбрать из условия минимума D_y (или σ_y).

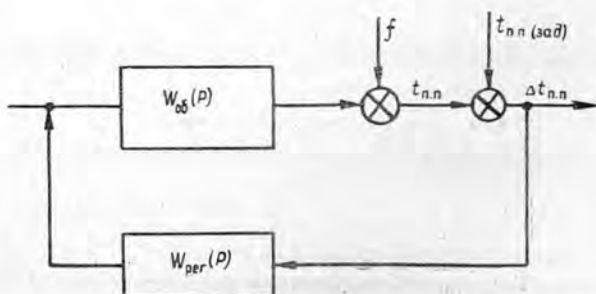


Рис. 1.

Структурная схема САР температуры перегретого пара приведена на рис. 1, где обозначено:

$W_{об}(p)$ — передаточная функция объекта (пароперегревателя с пароохладителем);

$W_{пер}(p)$ — передаточная функция регулятора;

- f — возмущения, действующие на объект регулирования, приведенные к выходу;
 $t_{п.п}$ — температура перегретого пара на выходе парового тракта;
 $t_{п.п. зад}$ — заданное значение температуры перегретого пара (450°C);
 $\Delta t_{п.п}$ — отклонение температуры перегретого пара от заданной в процессе работы.

Экспериментальным путем было установлено, что паровой тракт как объект регулирования описывается передаточной функцией вида

$$W_{об}(p) = \frac{K}{1 + a_1 p + a_2 p^2} \quad (1)$$

со следующими значениями параметров:

$$\left. \begin{aligned} K &= 3 \cdot 10^1 \text{ град}/100\%; \\ a_1 &= 5 \cdot 10^2 \text{ сек}; \\ a_2 &= 6 \cdot 10^4 \text{ сек}^2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Из условий практической реализации целесообразно рассмотреть пропорционально-интегральный (ПИ) закон регулирования

$$W_{рег}(p) = \frac{T_n p + 1}{\delta T_{ин} p}, \quad (3)$$

где δ и T_n — параметры настройки ПИ-регулятора.

(Инерционностью исполнительного механизма можно пренебречь ввиду малости по сравнению с постоянной времени объекта).

Передаточную функцию САР (рис. 1) по ошибке записывают в виде

$$\Phi(p) = \frac{1}{1 + W_{об}(p) \cdot W_{рег}(p)}. \quad (4)$$

Дисперсию выходного сигнала D_y определяют по формуле

$$D_y = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_y(\omega) \cdot d\omega, \quad (5)$$

где $S_y(\omega)$ — спектральная плотность выходного сигнала.

Известно, что при прохождении возмущающего сигнала со спектральной плотностью $S_f(\omega)$ через линейную систему с передаточной функцией $\Phi(p)$ спектральную плотность выходного сигнала определяют по формуле

$$S_y(\omega) = |\Phi(j\omega)|^2 \cdot S_f(\omega), \quad (6)$$

отсюда

$$D_y = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_f(\omega) |\Phi(j\omega)|^2 d\omega. \quad (7)$$

При обработке экспериментальных записей случайных процессов с помощью анализатора ЭАСП-С получена корреляционная функция возмущающего сигнала F , довольно близко аппроксимируемая выражением

$$R_f(\tau) = D_f e^{-\alpha|\tau|}, \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{где } \alpha &= 3 \cdot 10^{-3} \text{ сек}; \\ D_f &= 72 \text{ град}^2; \\ (\sigma_f &= \sqrt{D_f} = 8,45 \text{ град}). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

По определению спектральная плотность

$$S_f(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_f(\tau) \cdot e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (10)$$

Подставив выражение $R_f(\tau)$ из уравнения (8) в равенство (10) и вычислив интеграл, получим

$$S_f(\omega) = \frac{2D_f\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}. \quad (11)$$

Используя выражения (1), (3), (4), (7), (11) и вычислив предварительно квадрат модуля передаточной функции Φ_p получим

$$D_y = \frac{(\delta T_n)^2 D_f \alpha}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[a^2 \omega^2 + (\omega - a_0 \omega^2)^2] d\omega}{(a^2 + \omega^2) [(K - \delta T_n a_1 \omega^2)^2 + \dots + [(\delta T_n + K T_n) \omega - \delta T_n a_2 \omega^3]^2]} \quad (12)$$

Интеграл в выражении (12) следует привести к виду

$$Y_4 = \frac{1}{2\pi j} = \int_{-j\infty}^{+j\infty} \frac{C(p) \cdot C(-p)}{d(p) d(-p)} dp, \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{где } C(p) &= C_3 p^3 + C_2 p^2 + C_1 p^1 + C_0; \\ d(p) &= d_4 p^4 + d_3 p^3 + d_2 p^2 + d_1 p + d_0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Значение Y_4 можно найти из таблиц*, тогда окончательно получим

$$D_y = \frac{(\delta T_n)^2 D_f \alpha}{d_0 d_4 (-d_0 d_3^2 - d_1^2 d_4 + d_1 d_2 d_3)} [C_3^2 (-d_0^2 d_3 + d_0 d_1 d_2) + d_0 d_1 d_4 (C_2^2 - 2C_1 C_3) + d_0 d_3 d_4 (C_1^2 - 2C_0 C_2) + C_0^2 (-d_1 d_4^2 + d_2 d_3 d_4)]. \quad (15)$$

При приведении интеграла в выражении (12) к виду (13) легко определить коэффициенты C_0, C_1, C_2, C_3 :

$$C_0 = 0; \quad C_1 = 1; \quad C_2 = a_1; \quad C_3 = a_2. \quad (16)$$

Из системы уравнений (14) определяют коэффициенты:

$$\left. \begin{aligned} d_0 &= \alpha K; \\ d_1^2 - 2\alpha K d_2 &= \alpha^2 (\delta T_n + K T_n)^2 + 2\alpha^2 K \delta T_n a_1 + K^2 - K^2 \alpha^2; \\ d_2^2 - 2d_1 d_3 &= -2\alpha K \delta T_n a_2 + (\alpha \delta T_n a_1)^2 - 2\alpha^2 \delta T_n a_2 (\delta T_n + K T_n) + \\ &\quad + (\delta T_n + K T_n)^2 - 2K \delta T_n a_1; \\ d_3^2 - 2a_2 \delta T_n d_2 &= (\alpha \delta T_n a_2)^2 + (\delta T_n a_1)^2 - 2\delta T_n a_2 (\delta T_n + K T_n); \\ d_4 &= \delta T_n a_2. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

* В. С. Пугачев. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. Физматгиз, М., 1963.

Оптимальные параметры настройки δ и T_n можно найти по формуле (15) из условия минимума D_y , но при этом выражения $d_0 - d_4$, полученные при решении системы уравнений (17), слишком громоздки. Проще определять D_y , при разных конкретных сочетаниях настроек δ и T_n , взятых из условий физической реализуемости на промышленных регуляторах, и выборе сочетания, обеспечивающего минимальное значение D_y .

Исследования и расчеты показали, что в практически приемлемом диапазоне настроек δ (0,01—0,8) и T_n (100—1500 сек) наименьшие значения дисперсии и среднеквадратического выходного параметра

$$\left. \begin{aligned} D_y &= 0,53 \cdot D_f = 38 \text{ град}^2; \\ \sigma_y &= \sqrt{D_f} = 6,15 \text{ град} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

получаются при сочетании настроек

$$\left. \begin{aligned} \delta &= 0,2 \text{ град/ед.} \\ T_n &= 1000 \text{ сек} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Выражения (18) показывают, что рассматриваемая одноимпульсная система регулирования не обеспечивает необходимого качества процесса регулирования в условиях случайных возмущений. Для повышения качества работы САР следует вводить дополнительные корректирующие импульсы, например, по скорости изменения температуры пара на выходе или после первой ступени пароперегревателя. В этом случае анализ работы САР в условиях случайных возмущений можно выполнить аналогично.

Поступила 3 ноября 1972 г.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.311.031.001.2

К ВОПРОСАМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

П. П. ПАЦИОРА, Г. И. КОЛЬНИЧЕНКО, В. А. БУКШТЫНОВ

Московский лесотехнический институт

Приведены результаты обследования состояния электро-энергетики лесного хозяйства. Поставлены задачи и обоснована целесообразность исследования систем электроснабжения комплексных лесохозяйственных предприятий, направленного на улучшение их технико-экономических показателей.

Директивы XXIV съезда КПСС указывают на необходимость «улучшить ведение лесного хозяйства на основе повышения уровня его технического оснащения и химизации...». Между тем, уровень технического оснащения любой отрасли народного хозяйства в той или иной степени зависит от уровня электрификации и от обеспеченности соответствующих потребителей электроэнергией надлежащего качества. Роль электроэнергетической базы возрастает и в лесном хозяйстве, ориентированном на многостороннее использование лесных ресурсов и комплексное ведение всех связанных с этим работ. Кроме того, эффективность предстоящего внедрения автоматизированной системы управления лесным хозяйством во многом будет зависеть от того, насколько подготовлены к этому все его звенья, в том числе и электроэнергетика.

Достаточно полных данных об электроэнергетике лесного хозяйства до сих пор практически нет.

Таблица 1

Тип предприятия	Количество обследованных предприятий	Объем годовой продукции, млн. руб.		Установленная мощность трансформаторной подстанции, тыс. кВт·А		Годовой расход энергии, млн. кВт·ч	
		всего	на одно предприятие	всего	на одно предприятие	всего	на одно предприятие
Лесокомбинат	62	133,0	2,15	61,9	1,00	76,5	1,20
Леспромхоз	46	83,2	1,80	33,1	0,72	41,5	0,90
Мехлесхоз	112	196,4	1,75	17,7	0,16	17,1	0,15
Лесхоз	137	26,5	0,20	20,9	0,15	18,4	0,13
Лесхоззаг	34	22,3	0,65	10,8	0,32	10,5	0,31
Прочие	6	2,6	0,43	1,1	0,18	1,2	0,20
Итого	391	464,0	—	145,5	—	163,7	—

В 1971—1972 гг. кафедрой электротехники и электропривода Московского лесотехнического института проведено статистическое обследование около 400 предприятий лесного хозяйства РСФСР, Украинской и Литовской ССР. В табл. 1 дана общая характеристика электроэнергетики этих предприятий. Всего по обследованным предприятиям, выпускающим продукцию общей стоимостью более 460 млн. руб./год, годовой расход электроэнергии составляет более 160 млн. кВт·ч, причем их электроснабжение осуществляется от подстанций суммарной мощностью свыше 140 тыс. кВт·А. Наиболее энергоемки лесокомбина-

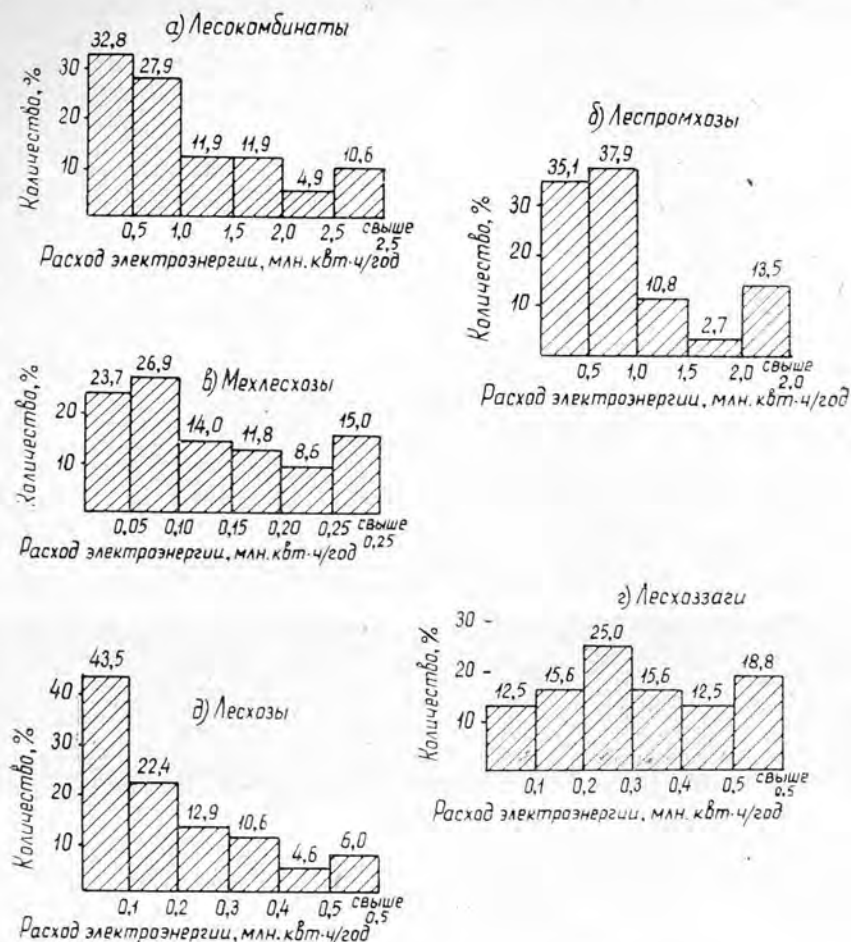


Рис. 1. Распределение комплексных лесохозяйственных предприятий по годовому расходу электроэнергии.

а, б, в, г и д — соответственно для 62, 46, 112, 34 и 137 предприятий.

ты, далее в порядке убывания энергоемкости — леспромхозы, лесхоззаги, межлесхозы и лесхозы.

Анализ таблицы показывает, что существуют зависимости между объемом годовой продукции, установленной мощностью трансформаторных подстанций и годовым расходом электроэнергии предприятий. Исследование указанных зависимостей выходит за рамки данной статьи. Более глубокое их изучение позволит обоснованно подойти к разработке рациональных систем электроснабжения и прогнозирования развития электроэнергетики лесохозяйственных предприятий.

Рис. 1 иллюстрирует распределение предприятий по годовому расходу электроэнергии. Внутри каждой группы предприятий характер распределения зависит от степени электрификации производственных процессов, и он не одинаков для различных групп.

В табл. 2 представлены данные о составе подстанций, откуда видно, что в количественном отношении в электроэнергетике лесного хозяйства преобладают трансформаторы номинальной мощностью от 75

Таблица 2

Номинальная мощность трансформаторов, кВ·А	Количество трансформаторов		Суммарная мощность трансформаторов каждого номинала, тыс. кВ·А	% к суммарной мощности всех трансформаторов
	шт.	% к общему количеству		
25—30	73	7,8	2,00	1,4
50—60	184	19,6	10,8	7,4
75—100	317	33,6	31,6	21,8
160—320	281	30,0	28,5	40,6
400—560	68	7,2	29,5	20,3
630—1000	17	1,8	12,5	8,5
Итого	940	100,0	145,5	100,0

до 560 кВ·А. Все используемые трансформаторы — понижающие, с первичным напряжением 10 кВ и вторичным 0,4кВ. Почти все подстанции не оснащены средствами регулирования напряжения, вследствие чего вторичное напряжение колеблется в широких пределах, часто превышающих допустимые по условиям работы электрифицированного оборудования.

Таблица 3

Тип предприятия	Количество обследованных предприятий	Установленная мощность собственных электростанций			Выработка электроэнергии на собственных электростанциях		
		всего		на одно предприятие, тыс. кВт	всего		на одно предприятие, млн. кВт·ч
		тыс. кВт	% к суммарной мощности всех электростанций		млн. кВт	% к суммарной мощности всех электростанций	
Лесокомбинат	12	4,70	41,5	0,4	12,00	50,5	1,0
Леспромхоз	6	4,50	40,0	0,75	9,00	38,0	1,5
Мехлесхоз	7	0,64	5,5	0,09	1,30	5,5	0,19
Лесхоз	10	1,40	12,0	0,14	1,20	5,4	0,12
Лесхоззаг	4	0,09	1,0	0,02	0,74	0,6	0,03
Итого	39	11,33	100,0	—	23,64	100,0	—

Приблизительно 10% обследованных предприятий имеют в качестве основного источника собственные электростанции, мощность которых колеблется в широких пределах: от 10 кВт (Дубновский лесхоззаг) до 1400 кВт (Апшеронский леспромхоз). Около 70% суммарной установленной мощности всех электростанций составляют электростанции мощностью 75—400 кВт. Как показывают данные табл. 3, систематизированные по типам предприятий, свыше 80% суммарной установленной мощности электростанций и почти 90% вырабатываемой ими электроэнергии приходится на лесокомбинаты и леспромхозы. Основным источником электроэнергии для большинства лесохозяйственных предприятий являются подстанции, подключенные к местной энергосети.

С целью дифференцированного подхода к вопросам улучшения существующих и разработки новых систем электроснабжения предприятий лесного хозяйства, отвечающих современным требованиям к надежности подачи электроэнергии и ее качеству, предлагается следующая классификация этих систем.

1. Системы электроснабжения первого типа не содержат источников электроэнергии, и отдельные потребители, характеризующиеся

малой величиной потребляемой мощности, получают электроэнергию от близлежащих более крупных предприятий.

2. Ко второму типу относятся системы электроснабжения предприятий с годовым расходом электроэнергии 200—800 тыс. кВт·ч. Это, как правило, леспромхозы и лесхоззаги с годовым объемом производства 500—1500 тыс. руб. Они снабжаются электроэнергией через понижающие подстанции мощностью 200—1000 кВт·А. Электроэнергия распределяется на напряжении 380 В.

3. Системы электроснабжения третьего типа характерны для лесокombинатов и леспромхозов с годовым объемом производства 1500—5000 тыс. руб., имеющих ряд подстанций мощностью 800—2000 кВт·А, которые объединены высоковольтной электрической сетью.

4. Четвертый тип характеризуется автономным электроснабжением. Электроэнергия вырабатывается на электростанциях мощностью от 20 до 1500 кВт, расположенных вблизи потребителей, и распределяется на низком напряжении по линиям небольшой протяженности.

5. Пятый тип электроснабжения — смешанный: часть потребителей получает электроэнергию от собственных электростанций, а другие — через понижающие подстанции от местных электросетей, или без подстанций, по низковольтным линиям от близлежащих предприятий. К этому типу могут относиться системы электроснабжения как сравнительно небольших предприятий, с годовым объемом производства 50—300 тыс. руб., так и крупных, со стоимостью продукции до 5 млн. руб./год.

Распространенность перечисленных типов систем электроснабжения показана в табл. 4.

Таблица 4

Тип системы электроснабжения лесохозяйственных предприятий	I	II	III	IV	V
Количество, % к общему количеству	30	50	10	5	5

Постановка задач улучшения электроснабжения лесохозяйственных предприятий, а также способы их решения будут зависеть от того, к какому из типов принадлежит конкретная система электроснабжения.

Итак, электроэнергетике лесного хозяйства присущи связи между основными экономико-энергетическими показателями, изучение которых является предпосылкой для разработки предложений по улучшению электроснабжения. Вскрытые закономерности послужат основой для прогнозирования развития электроэнергетики этой отрасли.

УДК 634.0.8

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ДОБРОТНОСТИ ЛЕСОПРОДУКЦИИ ПО РАЙОНАМ

В. М. КОЖИН, В. П. СТЯЖКИН

ЦНИИМЭ

Освещаются методические положения по определению средней добротности круглых лесоматериалов по отдельным районам на основе имеющихся в отчетности количественных и стоимостных показателей.

Оптовые цены на круглые лесоматериалы установлены исходя из себестоимости, нормы рентабельности и ценностных коэффициентов, дифференцированных по сортам, породам древесины и размерам сортиментов. Норма рентабельности и ценностные коэффициенты приняты едиными для всей отрасли, а себестоимость и добротность различны в каждой области, крае, республике.

В существующей статистической и бухгалтерской отчетности показатель средней добротности лесопroduкции не находит отражения. Для его определения при пересмотре оптовых цен специально собирается и обрабатывается обширная информация о распределении лесоматериалов по сортиментам, сортам, породам древесины, длине и толщине сортиментов. Этот метод оценки качества лесопroduкции весьма трудоемок, и его применение может быть оправдано только для целей построения прейскурантов оптовых цен, которые пересматриваются через 5—7 лет. Между тем в новых условиях хозяйствования улучшению качества продукции как одному из факторов повышения эффективности производства придается особое значение. Однако руководители предприятий, комбинатов и объединений лесозаготовительной промышленности не могут выполнить текущего анализа и контроля за качеством круглых лесоматериалов, так как отсутствуют сведения о распределении круглого леса по породам древесины, сортам, о распределении сортиментов по длинам, толщинам и т. д. Требуется более простой и менее трудоемкий метод определения добротности круглых лесоматериалов для целей текущего управления качеством продукции.

Нам представляется, что наиболее целесообразно качество лесопroduкции (добротность) определять методом, базирующимся на использовании количественных и стоимостных показателей, имеющихся в действующей статистической и бухгалтерской отчетности. Сущность этого метода заключается в следующем.

Уровень дифференцированных оптовых цен на круглые лесоматериалы C_c определяется по формуле

$$C_c = C_0 K_c,$$

где C_0 — цена базисного сортимента, коэффициент качества для которого равен 1 (пиловочник III сорта, диаметром 14—24 см, длиной 4—6,5 м, хвойных пород);

K_c — ценностный коэффициент, зависящий от сортимента, породы, сорта и размеров.

Для определения средней оптовой цены деловой древесины в целом C_d необходимо из стоимости всей древесины в оптовых ценах исключить стоимость топливных дров (товарные хлысты и дровяная древесина для технологических нужд включаются в единую сетку ценностных коэффициентов, а следовательно, и в общую стоимость деловой древесины) по формуле:

$$C_d = \frac{C_{об} O_{об} - C_{др} O_{др}}{O_d},$$

где $C_{об}$ и $C_{др}$ — средняя цена обезличенного 1 м³ всей и дровяной древесины;

$O_{об}$ и $O_{др}$ — объем всей вывезенной и дровяной древесины;

O_d — объем деловой древесины.

Среднюю оптовую цену деловой древесины обезличенных пород и франко-отправления необходимо скорректировать путем исключения надбавок для отдельных пород древесины, экспортных надбавок, стоимости древесины твердолиственных пород, учета разницы между ценами на деловую древесину на верхних рюмах и в пунктах потребления и ценами франко-вагон станция отправления.

Скорректированная и приведенная к уровню франко-вагон станция отправления стоимость деловой хвойной, мягколиственной и березовой древесины ($C_d^{х.л}$) определяется по формуле:

$$C_d^{х.л} = C_d - C_т O_т - P_л O_л - P_э O_э + P_{п.х} O_{п.х} + P_{п.л} O_{п.л} + P_в O_в,$$

где C_d — стоимость всей деловой древесины в оптовых ценах предприятий;

$C_т$ — средняя оптовая цена деловой древесины твердолиственных пород;

$O_т$ — объем вывезенной деловой древесины твердолиственных пород;

$P_л$ — надбавка к оптовой цене на деловую лиственничную древесину;

$O_л$ — объем вывезенной деловой лиственничной древесины;

$P_э$ — надбавка к оптовой цене на деловую древесину, поставляемую на экспорт;

$O_э$ — объем экспортной деловой древесины;

$P_{п.х}$, $P_{п.л}$ — разница между скидками-надбавками для перехода к ценам франко-вагон станция отправления и скидками для перехода к ценам франко-пункт потребления и переработки на деловую древесину соответственно хвойных и лиственных пород;

$O_{п.х}$, $O_{п.л}$ — объем вывезенной к пунктам потребления и переработки деловой древесины хвойных и лиственных пород;

$P_в$ — разность между скидками — надбавками для перехода к ценам франко-вагон станция отправления и скидками для перехода к ценам франко-верхние рюмы на деловую древесину ($P_в = 1,20$ руб.);

$O_в$ — объем деловой древесины, вывезенной на верхние рюмы.

Средняя оптовая цена на деловую древесину хвойных, мягколиственных и березовых пород ($C_d^{х.л}$) франко-вагон станция отправления определяется по формуле

$$C_d^{х.л} = \frac{C_d^{х.л}}{O_d^{х.л}},$$

где $O_{д}^{х.л}$ — объем деловой хвойной, мягколиственной и березовой древесины на всех видах франко.

Корректировка стоимости деловой древесины необходима по двум причинам:

а) цены на деловую древесину твердолиственных пород устанавливаются среднесоюзные франко-вагон станция отправления, тогда как цены на остальную устанавливаются франко-вагон станция назначения;

б) исключение надбавок и разницы для отдельных пород древесины и видов франко производится с целью приведения цен к единому франко-вагон станция отправления, по которому в дальнейшем будут устанавливаться оптовые цены назначения.

Коэффициент качества (добротности) деловой древесины хвойных, мягколиственных и березовых пород ($K_{д}^{х.л}$) определяется по формуле

$$K_{д}^{х.л} = \frac{U_{д}^{х.л}}{U_{б}}$$

($U_{б}$ принимается различным для каждой области, края, республики отправления).

Исходными данными для определения средней добротности деловой древесины по отдельным районам является отчетность по формам № 8-п (лес), приложение к форме № 6, «Справка о рентабельности основных видов продукции» и данные о поставке древесины на экспорт. Средняя добротность деловой древесины, определяемая по данной методике, учитывает как качество древесины в используемом лесосечном фонде, так и качество разделки древесины на нижних складах и степень облагораживания последней, а также уровень использования отходов производства.

Средняя добротность деловой древесины, определенная на основании дифференцированных коэффициентов качества по сортиментам, породам, сортам и размерам, для объединения «Свердлеспром» составила 1,116, по предлагаемой методике 1,117 (разница 0,1%), для объединения «Томлеспром» соответственно 1,098 и 1,131 (разница 2,9%). Мы считаем, что для анализа текущих изменений в качестве продукции и оценки их влияния на результаты производственно-хозяйственной деятельности предприятий, комбинатов и объединений приведенная методика вполне приемлема.

Для примера приведем расчеты сдвигов в качестве продукции по объединению «Свердлеспром». В 1970 г. коэффициент добротности возрос на 0,016 (1,116—1,100) по сравнению с 1969 г. В результате прибыль в расчете на 1 м³ деловой древесины увеличилась на 18 коп. (1150 коп. × 0,016, где 1150 коп. — цена 1 м³ хвойного пиловочника III сорта). Предлагаемая методика выгодно отличается простотой, наличием исходных данных для определения добротности в действующей отчетности и малой трудоемкостью.

По нашему мнению, для пересмотра или составления новых прейскурантов не всегда обязательно разрабатывать полностью сетку ценностных коэффициентов по каждому сортименту. Вполне достаточно в большинстве случаев разработать систему коэффициентов по породам древесины ($K_{п}$), сортам ($K_{с}$), толщинам ($K_{т}$) и длинам ($K_{д}$), как для пиломатериалов [2]. А ценностный интегральный коэффициент по сортиментам с любыми различиями по качеству и размерам [1] — [3] определится по формуле:

$$K_{и} = K_{п} K_{с} K_{т} K_{д}$$

Например, используя сетку ценностных коэффициентов действующего прейскуранта № 07—03, определим $K_{ц}$ для лиственничного пиловочника II сорта, длиной 4,0—6,5 м и диаметром 26 см и выше:

$$K_{ц} = 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,10 \cdot 1,00 = 1,48.$$

Исходя из этого оптовая цена отправления составит 17 руб. ($1,48 \times 11,50$), а цена назначения 21 р. 80 к. ($17,00 + 4,80$), где $C = 11,50$ руб.; а 4,80 руб./м³ — транспортные расходы по I поясу назначения.

Предложенный нами метод позволит резко сократить количество цен и установить действительно правильное соотношение между ценами на сортименты разного качества и размеров. Сама сетка вместо сотен позиций будет представлять четыре строки коэффициентов. Задача заключается в разработке экономически обоснованных ценностных соотношений по породам, сортам, размерам и отдельным сортиментам в ценах франко-вагон станция отправления.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Е. Е. Бурсин. Влияние качества (добротности) продукции на уровень цен. Научные труды ЦНИИМОДа, вып. 25, Архангельск, 1970. [2]. Е. Е. Бурсин. Ценообразование в лесопильно-деревообрабатывающей промышленности СССР. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1971. [3]. В. М. Кожин. О системе ценностных коэффициентов на круглые лесоматериалы. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 1, 1973.

Поступила 28 августа 1973 г.

УДК 634.0.864.9 : 634.0.88

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВА ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА И КОРЫ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ

Л. П. АЖАР

Сибирский технологический институт

Экономические расчеты производства химических продуктов на основе комплексной переработки гидролизного лигнина и коры лиственницы сибирской показывают, что получение продуктов по разработанной в СибТИ технологии экономически эффективно: рентабельность производства—52%, накопления—253,17 тыс. руб., окупаемость капиталовложений—3 года.

Ранее нами были опубликованы [1]—[7] результаты исследований, выполненных на кафедре химической технологии древесины Сибирского технологического института, в которых излагалась разработанная технология пиролиза гидролизного лигнина и коры лиственницы сибирской, обеспечивающая их комплексную переработку. Товарными продуктами по этой технологии являются физиологически активное масло и полукокс (уголь). Масло может быть использовано в качестве гербицида общестребительного действия [7] или как антисептик для консервирования древесины [2], полукокс — для производства сероуглерода и активированных углей, в качестве подкормки в животноводстве и для других целей. Образующиеся побочные продукты также предусматривается использовать: надсмольную воду — как компонент в новых антисептических составах [3] и для приготовления гербицидной эмульсии на основе масла, а неконденсирующиеся газы — в качестве топлива в этом же процессе.

Организация получения указанных продуктов в промышленных масштабах зависит от экономичности производства. Основным критерием, определяющим его экономическую целесообразность, является рентабельность и срок окупаемости капиталовложений. В связи с этим нами определен объем капитальных затрат, произведен расчет потребного количества рабочих и фонда их заработной платы, рассчитана себестоимость продукции и найдены другие технико-экономические показатели.

Экономические расчеты выполнены применительно к организации производства на Хакасском гидролизном заводе для предприятия по переработке в год 66 тыс. т лигнина 65%-ной влажности и 7 тыс. т коры лиственницы сибирской 55%-ной влажности. На основании материальных балансов, полученных при проведении опытных работ по пиролизу лигнина и коры лиственницы сибирской на производственных установках малой мощности (смонтированных на Хакасском гидролизном заводе), выход продуктов в расчете на 1 т абс. сухого сырья (890 кг лигнина и 110 кг коры) составит: физиологически активного масла — 90 кг, угля — 350 кг, неконденсирующихся газов — 348 кг, надсмольной воды — 190 кг, производственные потери — 22 кг.

Капитальные затраты на строительство производственного объекта определены по укрупненным показателям, а стоимость технологического оборудования принята по соответствующим прейскурантам и данным Сибгипробиосинтеза. Объем капиталовложений определен в сумме 832,2 тыс. руб., в том числе: строительные работы — 275,01 тыс. руб., а основное, вспомогательное и неучтенное оборудование — 422,32 тыс. руб., монтаж оборудования — 128,53 тыс. руб. и прочие расходы — 6,34 тыс. руб. Работа предприятия рассчитана на 330 дней в году при непрерывном режиме. Для обслуживания производства предусмотрен штат в количестве 89 человек. При планировании фонда заработной платы тарифные разряды и ставки рабочих, а также должностные оклады ИТР приняты по действующим нормативам на лесохимических предприятиях [9]. Годовой фонд заработной платы с учетом всех видов доплат равен 122,23 тыс. руб.

Цена лигнина принята по средней стоимости полуфабрикатов гидролизного производства: 50 коп. за 1 т лигнина 65%-ной влажности [8]. Для коры лиственницы сибирской в настоящее время отпускной цены нет. По согласованию с Красноярским ЦБК стоимость 1 скл. м³ коры принята 1 руб. При среднем значении объемного веса коры 0,5 и полндревесности 0,4 вес 1 скл. м³ абс. сухой коры составит 200 кг, а при влажности 55% — 445 кг. Тогда стоимость 1 т коры будет равна

Таблица 1

Элементы затрат	Сумма, тыс. руб.
Сырье и вспомогательные материалы (всего)	49,03
в том числе:	
лигнин	32,85
кора лиственницы сибирской	15,34
материалы	0,84
Энергетические затраты	104,46
Зарплата производственных рабочих с начислениями	116,29
Цеховые расходы	174,60
Общезаводские расходы	32,15
Внепроизводственные затраты	6,80
Полная себестоимость	483,33

2 р. 25 к. Стоимость энергоагентов, начисления на зарплату и накладные расходы заложены в калькуляцию себестоимости продукции по отчетным материалам Хакасского гидролизного завода. Полная себестоимость товарной продукции составляет 483,33 тыс. руб. (табл. 1).

Себестоимость отдельных видов продукции определяли с помощью калькуляционных коэффициентов. Их рассчитывали как отношение оптовой цены угля к оптовой цене физиологически активного масла, принятой за условную единицу.

Для масла, которое будет использоваться в качестве гербицида, оптовой цены нет. Оптовые цены на гербициды общенребительного действия колеблются от 245 до 1 000 руб. и выше за 1 т [10]. В расчетах принята минимальная оптовая цена масла — 245 руб./т. Распределением общей суммы затрат пропорционально количеству условной продукции каждого вида получена их себестоимость (табл. 2).

Таблица 2

Вид продукции	Головой выпуск, т	Оптовая цена		Коэффициент	Количество условной продукции	Себестоимость продукции	
		1 т, руб.	сумма, тыс. руб.			всей, тыс. руб.	1 т р.-к.
Физиологически активное масло	2301	245	563,74	1,0	2301	365,60	158—00
Уголь	9693	19	172,76	0,078	709	117,73	12—85
Итого			736,50		3010	483,33	

Выработка продукции на одного работающего (производительность труда) составляет 8,3 тыс. руб., а затраты на 1 руб. товарной продукции равны 66 коп. (табл. 2). Годовая прибыль предприятия равна 253,17 тыс. руб. (табл. 2), что соответствует рентабельности производства в 52% и обеспечивает окупаемость капиталовложений в 3 года.

Таким образом, ориентировочные технико-экономические расчеты показывают, что организация производства по предлагаемой технологии экономически целесообразна. Достижению высокой рентабельности, а следовательно, и сравнительно быстрой окупаемости капиталовложений способствуют следующие факторы: применение дешевого сырья — гидролизного лигнина и коры лиственницы сибирской, являющихся неиспользуемыми производственными отходами; комплексная переработка этих видов сырья, при которой используются все образующиеся в процессе продукты; высокий выход товарных продуктов — физиологически активного масла и угля; использование в качестве топлива для проведения пиролиза неконденсирующихся газов, а продуктов их сжигания — для сушки лигнина и коры.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Л. П. Ажар, Э. Д. Левин. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 3, 1971. [2]. Л. П. Ажар, Э. Д. Левин, Н. А. Соколова. Авторское свидетельство СССР № 297477. [3]. Л. П. Ажар, Э. Д. Левин. Авторское свидетельство СССР № 305052. [4]. Л. П. Ажар, Э. Д. Левин. Журн. «Деревообрабатывающая промышленность» № 3, 1971. [5]. Л. П. Ажар, Э. Д. Левин. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 3, 1972. [6]. Э. Д. Левин, Г. А. Малков. Реферативная информация «Химическая переработка древесины», вып. 3, 1965. [7]. Э. Д. Левин, Б. Р. Эйдуз, Л. П. Ажар, Р. А. Эльцберг, Т. Ф. Кандалинцева. Авторское свидетельство СССР № 225618. [8]. В. Н. Мосягин. Журн. «Гидролизная и лесохимическая промышленность» № 6, 1966. [9]. Д. Е. Ситкина. Организация и планирование производства на лесохимических и гидролизных предприятиях. Изд-во «Лесная промышленность», 1971. [10]. Справочник по применению гербицидов. Россельхозиздат, 1969.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 634.0.5

**ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА НАСАЖДЕНИЙ
ЛИСТВЕННОЙ ДАУРСКОЙ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Б. И. ПОДМАСКО

ВНИИЛМ

Дана схема типов возрастной структуры лиственных лесов Магаданской области, приведены эмпирическое и теоретическое распределение числа деревьев и запасов по естественным ступеням возраста для относительно одновозрастных, относительно разновозрастных и разновозрастных древостоев лиственной.

Лиственные леса Магаданской области занимают 43,6% покрытой лесом площади. Их возрастную структуру мы изучали, используя материалы 47 пробных площадей, заложенных по общепринятой в таксации методике при проведении инвентаризации западной части области в 1968—1970 гг. Пробные площади характеризуют наиболее распространенные насаждения лиственной с запасами 50 м³ и более на 1 га, IV—Va классов бонитета. На каждой пробной площади срубали 25—30 учетных деревьев, определяли их возраст и объем. Всего было срублено и обработано 1287 учетных деревьев.

Дальнейшая обработка исходного материала состояла в получении рядов распределения срубленных деревьев по 20-летним классам возраста и определении для каждой пробной площади на ЭВМ «Минск-22» среднего возраста $A_{ср}$, среднего квадратического отклонения σ_A возрастов отдельных деревьев от среднего возраста, коэффициентов изменчивости возраста v_A , асимметрии q_1 и эксцесса q_2 , ожидаемых на основе выборочных совокупностей амплитуд $A_{ср} \pm 3 \sigma_A$ возраста деревьев на пробных площадях. Кроме того, давалась оценка соответствия рассматриваемых распределений нормальному [1].

Исследованные лиственные насаждения (пробные площади с рубкой учетных деревьев) имеют средний возраст от 103 до 273 лет и разнообразную возрастную структуру. Поэтому мы применили метод распределения числа деревьев и их запаса по естественным ступеням возраста, выраженным в десятых долях от среднего возраста. В последние годы данный метод использован рядом исследователей для анализа возрастной структуры таежных разновозрастных лесов Европейского Севера, Сибири и Дальнего Востока и дает удовлетворительные результаты.

Анализ результатов исследований позволяет рекомендовать для практики лесоустройства следующую схему типов возрастной структуры приспевающих, спелых и перестойных насаждений лиственной (табл. 1). При группировке исходного материала по типам возрастной структуры использованы коэффициенты изменчивости,

Таблица 1

Тип возрастной структуры насаждений	Коэффициенты изменчивости возраста $v_A, \%$		$A_{ср}$	Амплитуда возраста деревьев, лет	Число деревьев в наиболее заселенном классе, %
	средние \bar{v}_A	генеральной совокупности $\bar{v}_A \pm t_{05} \cdot \sigma_{\bar{v}}$			
Одновозрастные или древостой элементов леса	2,6	До 3—4	107	До 20	100
Относительно одновозрастные	8,5	От 6 до 11	124	21—100	60—65
Относительно разновозрастные	12,7	От 10 до 15—16	183	101—200	35—40
Разновозрастные	21,2	От 19 до 23	215	201—300	25—30

Насаждения	Частоты распределения	Распределение числа дере			
		0,4	0,5	0,6	0,7
Относительно одновозрастные	Эмпирические	—	—	—	$\frac{1,4}{0,7}$
	Гаусса — Лапласа	—	—	—	$\frac{0,3}{—}$
Относительно разновозрастные	Эмпирические	—	—	—	$\frac{2,7}{1,7}$
	Гаусса — Лапласа	—	—	$\frac{0,4}{0,9}$	$\frac{3,7}{2,6}$
Разновозрастные	Эмпирические	—	$\frac{1,6}{0,5}$	$\frac{6,6}{2,1}$	$\frac{4,9}{2,8}$
	Гаусса — Лапласа	$\frac{0,4}{0,1}$	$\frac{1,2}{0,4}$	$\frac{3,5}{1,4}$	$\frac{7,0}{3,7}$

амплитуды возраста деревьев в насаждении и число деревьев в наиболее заселенном 20-летнем классе.

Полученные коэффициенты изменчивости возраста могут быть использованы при выполнении лесинвентаризационных работ, проводимых в настоящее время и планируемых на текущее пятилетие для всей территории гослесфонда области, в определении необходимого числа моделей для получения среднего возраста насаждений лиственницы с заданной точностью.

Анализ рядов распределения числа деревьев и их запаса по естественным ступеням возраста позволил получить обобщенные ряды распределения для насаждений различной возрастной структуры. Для большей наглядности ряды числа деревьев и их запасов (в процентах) наносились на координатную сетку в виде полигонов распределения (рис. 1).

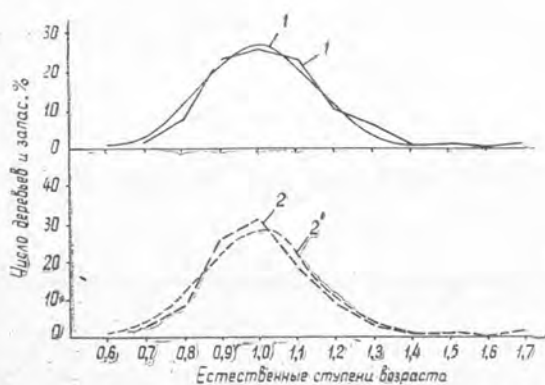


Рис. 1. Эмпирическое (1, 2) и теоретическое (1' и 2') распределение запасов и числа деревьев (%) по естественным ступеням возраста в относительно разновозрастных насаждениях.

Соответствие кривых эмпирического и нормального распределения привело к решению получить выравненные ряды с использованием статистических методов [2]. Как видно из рис. 1, кривая Гаусса — Лапласа довольно хорошо воспроизводит эмпирическое распределение. Тожественные результаты получены и для обобщенных рядов относительно одновозрастных и разновозрастных насаждений.

В табл. 2 приведено распределение числа деревьев и их запасов (в процентах) для насаждений различной возрастной структуры.

Из таблицы следует, что в центральных естественных ступенях возраста (0,9—1,1) сосредоточено: у относительно одновозрастных насаждений 90,6% числа деревьев и 93,2% запаса, у относительно разновозрастных соответственно 71,8 и 10,2%, у разновозрастных — 51,2 и 46,6%.

Таблица 2

вьев (числитель) и запасов (знаменатель), %, по естественным ступеням возраста

0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
5,0	17,1	51,1	21,3	4,1	—	—	—	—	—	—
4,2	14,7	53,4	22,9	4,1	—	—	—	—	—	—
4,4	24,0	42,6	24,0	4,4	0,3	—	—	—	—	—
3,4	24,0	45,2	24,0	3,4	—	—	—	—	—	—
8,3	26,0	30,6	18,7	9,1	3,2	0,5	0,5	—	0,4	—
8,0	23,3	26,7	23,3	10,5	5,6	0,4	0,2	—	0,3	—
10,0	21,9	28,0	21,9	10,0	3,7	0,4	—	—	—	—
11,4	21,5	27,2	21,5	11,4	2,6	0,9	—	—	—	—
11,5	14,6	21,3	18,5	10,7	6,1	2,0	1,6	0,2	—	0,4
5,8	9,3	19,5	22,5	15,5	12,3	4,0	3,6	0,5	—	1,6
12,3	16,4	18,4	16,4	12,3	7,0	3,5	1,2	0,4	—	—
7,1	11,5	16,5	18,6	16,5	11,5	7,1	3,7	1,4	0,4	0,1

Соответствие эмпирического распределения числа деревьев и запаса по естественным ступеням возраста нормальному дает основание рассматривать лиственничные насаждения как один условный элемент леса, состоящий из одного очень неоднородного поколения. Степень неоднородности возрастного строения особенно возрастает у разновозрастных древостоев.

Вероятно, при таксации разновозрастных лиственничных лесов следует говорить не о поколении, как отмечал А. С. Матвеев-Мотин, [4], сопровождается вероятными отклонениями по общему запасу и выходу сортиментов в пределах $\pm 3\%$ при ничтожных отклонениях в сортиментной структуре. Оба исследователя подчеркивали необходимость изучения строения разновозрастных насаждений и составления специальных объемных и сортиментных таблиц, основанных на ином соотношении высот и диаметров. Эти вопросы являются предметом особого рассмотрения.

Полученные нами результаты дополняют исследования лиственничных насаждений Сибири и Дальнего Востока, выполненные ранее разными авторами [5]—[9]. По нашему мнению, приведенные сведения облегчат выбор способов рубок в практике лесного хозяйства и лесоустроительного проектирования, а также будут способствовать повышению качества лесоинвентаризационных работ на территории Магадачской области.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. О. М. Дукарский, А. Г. Закурдаев. Статистический анализ и обработка наблюдений на ЭВМ «Минск-22». Изд-во «Статистика», М., 1971. [2]. М. Г. Здорик. Статистика для лесных специалистов. Гослесбумиздат, М.—Л., 1952. [3]. Б. А. Ивашкевич. Девственный лес, особенности его строения и развития. Журн. «Лесное хозяйство и лесная промышленность» № 10—12, 1929. [4]. А. С. Матвеев-Мотин. Таксация лесосеочного фонда в разновозрастном лесу. Журн. «Лесное хозяйство» № 8, 1940. [5]. Э. Н. Фалалеев, С. С. Шанин. Возрастное строение хвойных лесов Сибири. В кн.: Лиственница и ее использование в народном хозяйстве СССР, М., 1961. [6]. С. С. Шанин. Строение сосновых и лиственничных древостоев Сибири. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1965. [7]. С. С. Шанин. К вопросу об особенностях таксации разновозрастных сосновых и лиственничных древостоев Сибири. В кн.: Разновозрастные леса Сибири, Дальнего востока и Урала и ведение хозяйства в них, Красноярск, 1967. [8]. С. С. Шанин, С. Н. Товбис. Возрастное строение лиственничных древостоев Сибири и Дальнего Востока. В кн.: Лиственница и ее использование в народном хозяйстве СССР. Материалы научно-технической конференции, состоявшейся 9—13 июня 1960 г. в г. Красноярске, М., 1961. [9]. С. С. Шанин, С. Н. Товбис. Возрастное строение лиственничных древостоев. Сб. «Лиственница», вып. XXIX, СибТИ, Красноярск, 1962.

УДК 634.05

СТРОЕНИЕ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ БССР

В. Ф. БАГИНСКИЙ

БелНИИЛХ

Исследовано распределение числа стволов и сумм площадей сечений по ступеням толщины в сосновых молодняках БССР. Приведены величины относительного числа деревьев по естественным ступеням толщины, значения коэффициентов изменчивости в зависимости от возраста древостоев, показатели асимметрии и эксцесса.

Строение сосновых молодняков мы изучали на материале 90 пробных площадей, заложенных в 5—40-летних древостоях различного происхождения (в культурах —57, естественных —33) I—III классов бонитета. Культуры созданы посадкой с числом посадочных мест около 10000 шт. на 1 га. Как культуры, так и естественные молодняки имели полноту 0,8—1,0. В 5—7-летних молодняках диаметры замеряли на высоте 0,25 м. Культуры в возрасте 10 лет и старше имели минимальный средний диаметр 3—5 см. Исследуемые участки не подвергались рубкам ухода.

При обработке материала использованы методы математической статистики [4]. Все расчеты для древостоя в целом (в абсолютных и относительных величинах) проведены на ЭВМ «Минск-22» по составленным автором алгоритмам и рабочим программам. Точность исследования $\pm 2\%$.

Установлено, что при выравнивании опытных данных для культур сосны уже с 5-летнего их возраста можно использовать кривую обобщенного нормального распределения, для 20—25-летних можно применять кривую Гаусса — Лапласа, но больше подходит кривая Шарлье. В молодняках естественного происхождения распределение числа стволов по диаметру передается кривой обобщенного нормального распределения лишь с 20—25 лет. Распределение числа стволов по диаметру в сосновых молодняках различного происхождения может быть выражено I типом кривых Пирсона ($0 > \chi > -4$ для естественных молодняков и $-0,001 > \chi > -1,0$ для культур).

Исследования строения молодняков по естественным ступеням толщины позволили установить, что происхождение и возраст оказывают некоторое влияние на характер строения. В более молодом возрасте шире размах ряда распределения, среднее значение диаметра с увеличением возраста передвигается ближе к 1,0 (в 10 лет в культурах $X = 0,910 \pm 0,040$, а в 30—40 лет $X = 0,945 \pm 0,034$), соответственно изменяется положение среднего дерева (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Происхождение насаждения	Возраст, лет	Ранг среднего дерева
Искусственное	5	58,4
	10	60,3
	15—20	58,9
	25—40	57,5
	В целом 10—40	58,9
Естественное	10	73,0
	15—20	61,5
	25—40	59,3
	В целом 15—40	60,3

Однако сходства в строении молодняков (за исключением молодняков естественного происхождения до 15—20 лет) значительно больше, чем различий. Проверка, проведенная по критерию согласия Колмогорова, показала, что исследуемые выборки (за исключением естественных молодняков в стадии «чащи») могут быть отнесены к одной генеральной совокупности при 5%-ном уровне значимости. Это дало возможность

Таблица 2

Относительные ступени толщины	Процентное распределение числа деревьев в сосновых молодняках		Относительные ступени толщины	Процентное распределение числа деревьев в сосновых молодняках	
	искусственных	естественных		искусственных	естественных
0,2	2,6	2,2	1,3	6,1	5,6
0,3	3,5	2,9	1,4	5,0	4,2
0,4	4,9	4,6	1,5	3,6	2,9
0,5	6,3	6,5	1,6	2,4	2,0
0,6	7,9	8,4	1,7	1,5	1,4
0,7	9,0	9,8	1,8	0,9	1,0
0,8	9,9	10,4	1,9	0,4	0,7
0,9	10,1	10,5	2,0	0,3	0,5
1,0	9,6	10,0	2,1	0,2	0,3
1,1	8,5	8,7	2,2	—	0,2
1,2	7,3	7,1	2,3	—	0,1

найти процентное количество деревьев по относительным ступеням толщины в целом для культуры 10—40 лет и в естественных молодняках 15—40 лет (табл. 2).

Естественные молодняки в стадии «чащи» имеют большую относительную разновозрастность и густоту, чем культуры, меньший средний диаметр (1—3 см) в одном возрасте и классе бонитета. Максимальное число стволов приходится на первую или вторую ступень толщины, ряд распределения выравнивается по уравнению I Пирсона.

Полученные результаты в целом подтверждают классические положения А. В. Тюрина, Н. В. Третьякова и др. о наличии в строении древостоев известных закономерностей и общую их тенденцию. Но из-за разницы в возрасте древостоев процентное количество деревьев в соответствующих ступенях несколько отличается от данных А. В. Тюрина [8], В. И. Левина [3] и др. Это выражается в том, что в молодняках шире размах ряда распределения, меньше концентрация деревьев в средних ступенях толщины, до ступеней 0,4—0,7 накапливается большее число стволов и т. п.

Наши результаты близки к данным В. П. Старостенко [7] и И. И. Григалиюнас [1] для соответствующих категорий древостоев. Найденные величины максимальных и минимальных редукционных чисел близки к соответствующим данным В. С. Моисеева [5].

Ряды распределения сосновых молодняков по диаметру характеризуются положительной асимметрией A и отрицательным эксцессом E . Не установлено достоверной связи между A и E с возрастом и бонитетом, что подтверждает выводы К. Е. Никитина [6].

Коэффициенты корреляции между изменчивостью и возрастом составляют: в культурах $-0,984 \pm 0,012$; в естественных древостоях $-0,865 \pm 0,102$ и значимы для генеральной совокупности при 5%-ном уровне значимости. Влияние класса бонитета оказалось незначимым. Величины изменчивости сосновых молодняков приведены в табл. 3.

Таблица 3

Происхождение насаждения	Коэффициенты вариации распределения числа стволов по диаметру в сосновых молодняках возраста, лет						
	10	15	20	25	30	35	40
Искусственное	52,1	47,0	42,9	39,4	36,4	33,9	31,6
Естественное	67,0	61,6	55,3	50,6	46,4	42,4	40,3

Установлена высокая и устойчивая связь между рассматриваемым коэффициентом вариации и средним диаметром древостоя (в культурах $r = -0,945 \pm 0,034$, в естественных молодняках $r = -0,903 \pm 0,074$); она зависит от происхождения древостоя и не зависит от класса бонитета.

Результаты наших исследований подтверждают, что изменчивость диаметров в сосновых молодняках выше, чем в более старых древостоях ([2], [6] и др.). Наши результаты близки к данным других авторов [1], [5].

Строение сосновых молодняков по сумме площадей сечения (Σg) изучали по той же методике и на том же материале. Выяснилось, что распределение по ступеням толщины для сосновых молодняков различного происхождения подчиняется закону нормального распределения (за исключением естественных молодняков до 15—20 лет).

Таблица 4

Относительные ступени толщины	Процентное распределение Σg в сосновых молодняках		Относительные ступени толщины	Процентное распределение Σg в сосновых молодняках	
	искусственных	естественных		искусственных	естественных
0,2	0,1	0,1	1,3	10,3	9,5
0,3	0,3	0,3	1,4	9,7	8,2
0,4	0,8	0,7	1,5	8,1	6,5
0,5	1,6	1,6	1,6	6,1	5,1
0,6	2,8	3,0	1,7	4,3	4,0
0,7	4,5	4,8	1,8	2,9	3,2
0,8	6,3	6,7	1,9	1,6	2,6
0,9	8,2	8,5	2,0	1,1	1,9
1,0	9,6	10,0	2,1	0,9	1,3
1,1	10,3	10,5	2,2	—	0,8
1,2	10,5	10,2	2,3	—	0,5

Из этого факта, учитывая тесную связь Σg с запасом, можно сделать вывод о возможности применения в молодняках тех же единых методов таксации, что и в более старших древостоях. Обобщенная характеристика распределения сумм площадей сечений для культур в возрасте 10—40 лет и естественных древостоев от 15—20 до 40 лет приведена в табл. 4.

Ранг среднего дерева по Σg неустойчив и колеблется в пределах 3%. В среднем его можно принять равным 30,2%.

Значения асимметрии и эксцесса для рядов распределения Σg по абсолютному значению меньше, чем при распределении диаметров. Сосновые молодняки по рассматриваемому признаку в основном характеризуются отрицательными асимметрией и эксцессом, несколько уменьшающимися с увеличением возраста. Связь показателей A и E с классом бонитета и возрастом недостоверна. Изменчивость Σg несколько ниже, чем диаметров. Прослеживается зависимость коэффициента вариации от возраста ($r = -0,988 \pm 0,012$) и от среднего диаметра ($r = -0,971 \pm 0,025$). Связи его с классом бонитета не обнаружено. Величины изменчивости Σg в зависимости от возраста приведены в табл. 5.

Таблица 5

Происхождение насаждений	Коэффициенты вариации рядов распределения сумм площадей сечений по ступеням толщины в возрасте, лет						
	10	15	20	25	30	35	40
Искусственное	33,6	30,4	28,8	27,9	27,2	26,8	26,4
Естественное	57,9	44,9	38,4	34,5	31,9	30,0	28,6

Сравнение полученных результатов с данными А. В. Тюрина показало наличие определенного сходства и некоторых различий, подобных указанным при рассмотрении строения по диаметру.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. И. И. Григалинас. Изучение закономерностей таксационного строения и уточнение таксации сосновых молодняков искусственного происхождения в Литовской ССР. Автореферат кандидатской диссертации, Каунас, 1968. [2]. М. Л. Дворецкий. Изменчивость и взаимосвязь таксационных признаков. Сборник трудов ПЛТИ, № 52, Йошкар-Ола, 1957. [3]. В. И. Левин. Сосняки Европейского Севера. Изд-во «Лесная промышленность», М., 1966. [4]. А. К. Митропольский. Техника статистических исчислений. М., 1971. [5]. В. С. Моисеев. Строение, суммы площадей сечений и запасы смешанных молодняков в лесах европейской части РСФСР. Сб. «Совершенствование существующих и разработка новых методов инвентаризации лесов», № 131, Л., 1970. [6]. К. Е. Никитин. Лиственница на Украине. Изд-во «Урожай», Киев, 1966. [7]. В. П. Старостенко. Ход роста сосновых молодняков искусственного происхождения в пристепных борах УССР. Автореферат кандидатской диссертации, Киев, 1967. [8]. А. В. Тюрин. Нормальная производительность насаждений сосны, березы, осины и ели. Сельхозиздат, М.—Л., 1931.

УДК 634.0.44

НЕКОТОРЫЕ БОЛЕЗНИ ДУБА В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Э. С. ГУСЕЙНОВ

АзНИИЛХ

Приводится подробный диагноз болезней дуба в Азербайджане с описанием морфологии и биологических особенностей возбудителей.

В лесах Азербайджана деревья дуба в значительной степени страдают от таких грибных болезней, как антракноз, серая пятнистость, деформация листьев и др.

Антракноз (*Gloeosporium quercinum* West.) поражает листья и желуди. На листьях образуются пятна различной величины и формы, чаще неправильные, резко ограниченные или расплывчатые, до 1 см величиной, бурые. Со временем ткань в местах пятен выпадает, лист становится дырчатым. Часто дырчатость охватывает до 3/4 листовой пластинки, и такие листья засыхают. В пораженных листьях резко уменьшается процесс ассимиляции, что приводит к ослаблению растений. На пятнах, жилках листа и на галлах, вызванных насекомыми, формируются споронии возбудителя в виде лож. Последние хорошо различимы, от желтых до темно-бурых, на светлых пятнах трудно заметны, вначале прикрытые, затем прорывающиеся, многочисленные разбросанные, на обеих сторонах листа, подушковидные, несколько вытянутые или округлые, 100—230 мк в диаметре. В ложках образуются палочковидные,верху суживающиеся конидиеносцы с конидиями. Конидии самой разнообразной формы и двух типов: макроконидии — цилиндрические, с закругленными концами, овальные, яйцевидные или неравнобокие, часто при основании суживающиеся в тоненькую ножку, слегка буроватые или бесцветные, зернистые, их размеры $(11 \div 17,2) \times (4 \div 6,6)$ мк; микроконидии — бесцветные, овальные или палочковидные, размерами $(4,4 \div 9) \times (1,5 \div 2,5)$ мк.

В период вегетации инфекция передается конидиями. В распространении инфекции ведущая роль принадлежит воздушным потокам и дождевой воде. Конидии (споры) разносятся также насекомыми — вредителями дуба. Источник весенней инфекции — опавшие и перезимовавшие больные листья.

Болезнь распространена как на низменности, так и в горах. Однако с высотой количество пораженных деревьев и степень поражения уменьшаются. Сильнее всего страдают деревья на низменности.

Из всех видов дуба в Азербайджане сильнее поражаются длинноножковый и каштанолистный, сравнительно слабее — восточный и иберийский.

При поражении желудей на выпуклой и внутренней поверхностях семядолей образуются расплывчатые серо-бурые или бурые пятна, которые впоследствии сливаются и захватывают большую часть семядолей, образуя язвы. На поверхности такой язвы появляются мелкие подушечки (ложка гриба), расположенные концентрическими кругами. Вначале они прикрыты, затем прорывающиеся, желтого или бурого цвета, до 1 мм в диаметре. В подушечках находятся палочковидные конидиеносцы с конидиями. Последние цилиндрические, размерами $(12 \div 16) \times (4,4 \div 4,8)$ мк, с зернистым содержимым.

Пораженные желуди гниют и не дают всходов. Болезнь на желудях продолжает развиваться и в период хранения.

Серая пятнистость (септориоз) — распространенная болезнь. Поражает все виды дуба, но в разной степени. Так, дуб араксинский страдает меньше длинноножкового и каштанолистного.

Болезнь вызывается грибом *Septoria quercina* Desm. (рис. 1). Поражаются листья, на которых образуются округлые или неправильные, мелкие, сероватые с темным ободком пятна. Отдельные пятна, увеличиваясь, сливаются, при этом отмирает значительная часть листовой пластинки. Пораженные листья засыхают и опадают, иногда на месяц раньше, чем здоровые. Особенно страдают от болезни саженцы и молодые дубки в питомниках, лесокультурах, а также в лесу.

К осени на нижней стороне пораженных листьев появляются споронии гриба в виде черных округлых пикнид, заполненных бесцветными, нитевидными, изогнутыми спорами с поперечными перегородками, их размеры $(35 \div 40) \times (1,5 \div 2)$ мк.

В период вегетации гриб распространяется спорами. Весной первоисточником инфекции становятся остатки больных растений. Вредоносность гриба в различных

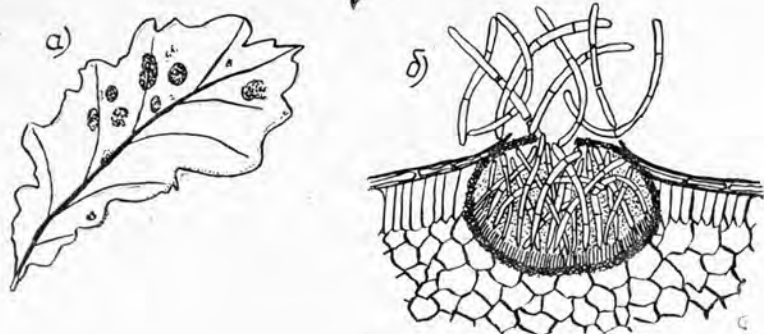


Рис. 1.

а — пораженный септориозом лист; б — спороношение *Septoria quercina* Desm.

высотных зонах неодинакова. В низменной зоне болезнь развивается слабее, чем в предгорной и горной.

Деформация листьев вызывается голосумчатым грибом *Taphrina coerulecens* (Desm. et Mont.) Tul. На пораженных листьях пятна на нижней стороне неправильные, величиной 2,5—3 см, сливаются и захватывают более половины листа. Они обычно простираются между жилками, вначале голубоватые, затем буро-желтые. На верхней стороне пятна чуть желтоватые, хорошо заметные, из-за выпуклости и морщинистости. Пораженные участки листа засыхают. Возбудитель вызывает локальное поражение. На пораженных участках нижней стороны листа под кутикулой располагается гимениальный слой, состоящий из плотно прижатых друг к другу сумок гриба и имеющий вид хорошо заметного восковидного налета. Сумки размерами $(55\div 70) \times (15\div 20) \mu\text{м}$, с резко оттянутым основанием, около которого пустая клетка отсутствует. Сумкоспоры почкующиеся, шаровидные, 2 мк в диаметре, бесцветные. Формирование сумок в пораженных листьях начинается в мае, созревание же сумкоспор и их массовое выбрасывание через кутикулу наблюдается в конце мая — июне, но повторного заражения листьев в течение этого года не происходит. Перезимовав в трещинах коры, на кроне деревьев, между чешуйками почек, куда сумкоспоры попадают при рассеивании или вместе с остающимися на дереве больными листьями, весной они, почкуясь, образуют вторичные споры, которые способствуют новому заражению. Первые признаки болезни обнаруживаются в конце апреля.

Пятнистость вызывается грибом *Monochaetia pachyspora* Vub. На верхней стороне пораженных листьев неправильные, округлые, или угловато-округлые, до 0,5 см в диаметре, многочисленные, светло-коричневые с темно-бурой каймой пятна. Пораженные участки ткани листа засыхают. При сильном поражении листья могут засохнуть полностью. На больных листьях, с верхней стороны, формируются многочисленные, округлые, 150—200 мк в диаметре, черные ложа гриба, вначале прикрытые, затем обнаженные. В ложах сосредоточены конидиеносцы с конидиями. Последние широковеретеновидные, с четырьмя перегородками, перетянутые, размерами $(20\div 25) \times (6,6\div 8,4) \mu\text{м}$; три средние клетки темно-бурые, 13,2—17,4 мк; две крайние клетки бесцветные; ножка бесцветная, согнутая. Ресничка одна крючковатая, размером $(11\div 15,4) \times 1 \mu\text{м}$.

Инфекция сохраняется на опавших больных листьях.

УДК 634.0.812

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПРОЛЕТА НА ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПРЕДЕЛОМ ПРОЧНОСТИ И МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ИЗГИБЕ

В. Н. ВОЛЫНСКИЙ

Архангельский лесотехнический институт

Описаны результаты эксперимента по исследованию влияния величины относительного пролета на предел прочности и модуль упругости древесины при изгибе. Изучена теснота взаимосвязи между двумя последними величинами при различных условиях испытаний и указаны оптимальные условия испытаний в случае контроля прочности пиломатериалов и в случае получения расчетных характеристик древесины при изгибе.

Под относительным пролетом понимают величину l/h , то есть отношение расстояния между опорами к толщине изгибаемого образца. Известен ряд работ по исследованию влияния этого фактора на результаты определения предела прочности и модуля упругости древесины при изгибе [1]—[6]. В связи с практическими успехами в деле сортировки по прочности появилась необходимость рассмотреть взаимосвязь между модулем упругости и пределом прочности.

При проведении опытов использовали основные образцы сечением 2×2 ; 3×3 ; 4×4 см; расстояния между опорами составляли 24, 36, 60 см; величина относительного пролета изменялась от 6 до 30.

На рис. 1 показана схема раскроя заготовок на образцы. Схема предусматривала получение одного — двух образцов всех длин и сечений из каждой черновой заготовки сечением 4×11 см и длиной 150 см; пороки были в пределах допускаемых для заготовок третьей группы качества (по ГОСТу 9685—61). После выдерживания до комнатной влажности и после чистового строгания образцы испытывали на машине Р-5 в специальном приспособлении. Для регистрации прогибов по середине длины образца применяли индикатор часового типа.

Изгиб производился сосредоточенной силой в середине пролета; опоры и нажимной нож имели радиус закругления 25 мм. При определении модуля упругости ручным нагружением древесину сначала обминали. Затем при ручном нагружении снимали показания индикатора при нагрузке, соответствующей напряжению не более 200 кгс/см^2 . Сразу после этого включали механический привод и доводили образец до разрушения при скорости движения силового винта 10 мм/мин .

Модуль упругости при изгибе E , кгс/см^2 , и предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{изг}}$, кгс/см^2 , определяли по следующим формулам:

$$E = \frac{Pl^3}{4bh^3f}; \quad \sigma_{\text{изг}} = \frac{3P_{\text{max}} l}{2bh^2}$$

где P — величина интервала нагружения, кгс ;

l — расстояние между опорами, см ;

b — ширина образца, см ;

h — толщина образца, см ;

f — прогиб, см ;

P_{max} — разрушающая нагрузка, кгс .

Рассчитаны также коэффициенты корреляции между E и $\sigma_{\text{изг}}$.

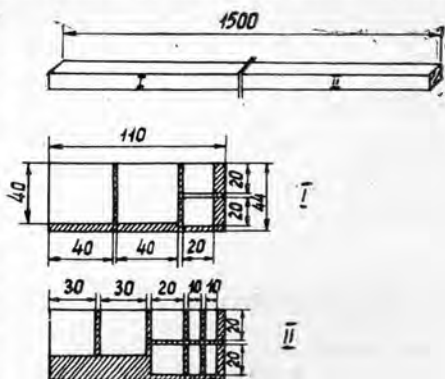


Рис. 1.

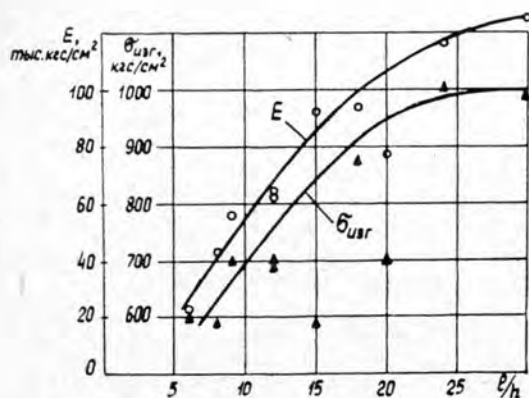


Рис. 2. Зависимость предела прочности и модуля упругости от величины относительного пролета.

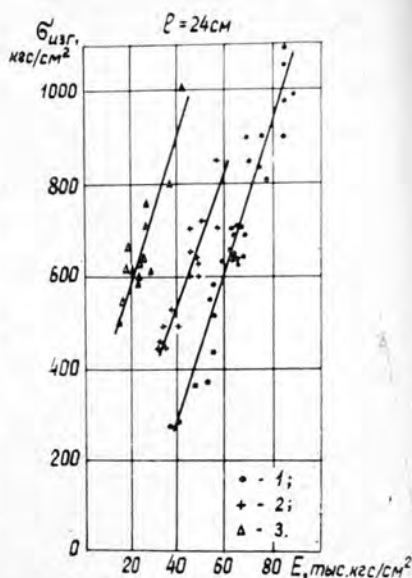


Рис. 3. Модули упругости и пределы прочности образцов различных сечений при расстояниях между опорами 24 см.

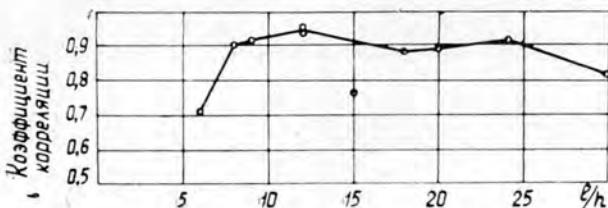


Рис. 4. Зависимость коэффициента корреляции от пролета.

Результаты испытаний представлены на рис. 2, 3, 4. По мере увеличения относительного пролета величины модуля упругости и предела прочности возрастают, причем последняя величина стабилизируется при $l/h \approx 24$. Степень влияния относительного пролета на эти две характеристики древесины неодинакова, поэтому меняются и уравнения связи между E и $\sigma_{изг}$ * (рис. 3). По мере увеличения толщины, то есть уменьшения относительного пролета, рои точек сдвигаются влево. Из рис. 4 видно, что при очень малых и очень больших значениях l/h корреляция снижается.

Таким образом, при оценке прочности пиломатериалов и заготовок по их модулю упругости при изгибе необходимо найти уравнения связи для каждого конкретного сечения материала и принятой методики испытаний. С целью получения тесной корреляционной связи испытания на изгиб необходимо проводить при относительном пролете 12—18, а чтобы найти расчетные характеристики пиломатериалов, исследованная следует выполнять при l/h не менее 24.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. А. Илннен. О влиянии размеров образцов на прочность при изгибе. Holz als Roh- und Werkstoff, № 9, 1942. [2]. Ф. Недбал. Влияние величины опытных об-

* $\sigma = AE + B$ (A и B — постоянные коэффициенты).

разцов на прочность при изгибе. *Drewarsky ruskum*, № 6, 1960. [3]. Л. М. Перелыгин. Обоснование стандартных методов испытаний древесины. М., 1937. [4]. Е. И. Савков. Прочность пиломатериалов. М., 1962. [5]. Б. Н. Уголев. Влияние поперечной силы на величину модуля упругости при изгибе. Журн. «Деревообрабатывающая промышленность» № 6, 1960. [6]. Г. Шнеевайс. Влияние метода нагружения, расстояния между опорами и толщины образца на прочность при изгибе. *Holz als Roh- und Werkstoff*, № 11, 1964.

УДК 674.038.6

РАСЧЕТ УСИЛИЙ В УПАКОВКЕ БЛОК-ПАКЕТОВ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

А. С. СМЕТАНИН, В. Ф. ЩЕГЛОВ

ЦНИИМОД

Изложена методика расчета усилий в упаковке блок-пакетов пиломатериалов при перевозке морским, железнодорожным и автомобильным транспортом.

Контейнеризация перевозок различных грузов и преимущества большегрузных контейнеров ставят вопрос об увеличении грузовой единицы при перевозке пиломатериалов в пакетах. Такая единица — блок-пакет, который по своим габаритам и весу подобен универсальному большегрузному контейнеру. Блок-пакеты пиломатериалов можно перевозить железнодорожным, водным и автомобильным транспортом.

В процессе транспортировки и грузовых операций на блок-пакеты действуют динамические нагрузки, которые условно можно подразделить на три вида: качательные, ускорительные и вибрационные.

Качательные нагрузки возникают при морских перевозках и зависят от величины бортовой и килевой качки и места нахождения блок-пакетов на судне. Ускорительные нагрузки появляются, в основном, на наземном транспорте при изменении скорости и направления движения; наибольшие нагрузки ускорительного характера возникают на железнодорожном транспорте при маневровых работах. Вибрационные нагрузки имеют место на всех видах транспорта и характеризуются частотой и амплитудой колебаний, которые определяют величины ускорений, действующих на груз.

1. Расчет динамических нагрузок качательного характера

При бортовой качке судна с амплитудой θ_{max} наибольшее угловое ускорение [5]

$$\ddot{\theta}_{max} = \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot \theta_{max}.$$

Линейное ускорение какой-либо точки на судне, имеющей координаты y и z и отстоящей от оси вращения на величину S , равно $S \cdot \ddot{\theta}_{max}$ и направлено нормально к величине S (рис. 1). Соответствующая такому ускорению сила инерции массы m , находящейся в этой точке,

$$P_1 = m \cdot S \cdot \ddot{\theta}_{max}.$$

Составляющие этой силы по направлению осей oy и oz :

$$P_{1y} = m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot \theta_{max} \cdot z;$$

$$P_{1z} = m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot \theta_{max} \cdot y;$$

при килевой качке судна

$$P_{1x} = m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_2^2} \cdot \varphi_{max} \cdot z;$$

$$P_{1z} = m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_2^2} \cdot \varphi_{max} \cdot x.$$

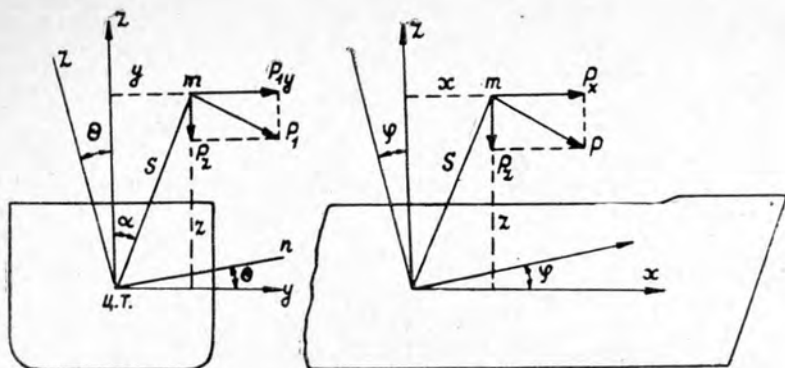


Рис. 1. К расчету динамических нагрузок качательного характера.

При качке на волнении судно, помимо рассмотренных выше вращательных перемещений около поперечной и продольной осей, проходящих через центр тяжести, получает также движение, при котором сами эти оси перемещаются по некоторым орбитам, близким к окружности. При этом все массы движутся по окружности радиуса с линейной скоростью.

$$v = \frac{2\pi r}{\tau}$$

получая центробежное ускорение

$$j = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2}{\tau^2} \cdot r$$

вызывающее силы инерции

$$P = m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau^2} \cdot r$$

где τ — период вращения.

Составляющие сил инерции, действующие в направлении главных осей судна: при бортовой качке

$$P_{2y} = \pm m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot r_1 \cdot \sin \theta_{max};$$

$$P_{2z} = \pm m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot r_1 \cdot \cos \theta_{max};$$

при килевой качке

$$P_{2x} = \pm m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_2^2} \cdot r_2 \cdot \sin \varphi_{max};$$

$$P_{2z} = \pm m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_2^2} \cdot r_2 \cdot \cos \varphi_{max};$$

$$r_1 = \frac{g \cdot \tau_1^2}{80\pi} \quad \text{и} \quad r_2 = \frac{g \cdot \tau_2^2}{80\pi}$$

Суммарная величина инерционных сил

$$P_y = P_{1y} + P_{2y} = m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot (\theta_{max} \cdot z \pm r_1 \cdot \sin \theta_{max});$$

$$P_x = P_{1x} + P_{2x} = m \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_2^2} \cdot (\varphi_{max} \cdot z \pm r_2 \cdot \sin \varphi_{max}).$$

Усилия P_{z_1} и P_{z_2} направлены к палубе и на формоустойчивость блок-пакета не действуют.

2. Расчет динамических нагрузок ускорительного характера

Процесс сцепки железнодорожных вагонов можно рассматривать как движение под действием упругой силы [1], [5]. Вагон массой m , двигаясь с постоянной скоростью v , встречает на своем пути упругое сопротивление (пружину буфера), в результате действия которого он останавливается.

Зная массы сцепляемых вагонов, скорости движения при маневровых работах и коэффициент жесткости пружин буферов подвижного состава, можно определить ускорения, а по ним инерционные нагрузки, действующие на блок-пакеты пиломатериалов.

Проведенные исследования показали, что максимальные ускорения при маневровых работах (скорость движения 2—7,5 км/час) достигают величины $1 \cdot g$ [2].

3. Расчет динамических нагрузок при вибрациях

Согласно закону Ньютона $F = m\ddot{x}$. По теории колебаний ускорение $\ddot{x} = C\omega^2$ [5] (где C — амплитуда колебания; ω — круговая частота).

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau} = 2\pi f,$$

где f — частота;
 τ — период колебания.

Тогда

$$\ddot{x} = c \cdot (2\pi f)^2 = 4\pi^2 f^2 c;$$

$$F = m \cdot 4\pi^2 f^2 c.$$

Анализ теоретических и опытных исследований по определению основных параметров вибраций транспортных средств показал, что максимальные ускорения от поперечной и вертикальной вибраций судов достигают величины $0,1 g$ [3], а на железнодорожном транспорте при несимметричном расположении груза — $0,5 g$ [4]. При расчете максимальных инерционных нагрузок от вибраций следует исходить из этих величин.

Обобщение известных данных позволяет определить расчетные величины ускорений, воспринимаемых грузом при перевозке различными видами транспорта (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Нагрузка	Величина ускорений для видов транспорта		
	морского	железнодорожного	автомобильного
Вибрационная	0,1g	0,5g	—
Качательная			
бортовая качка	0,36g	—	—
килевая качка	0,12g	—	—
Ускорительная	—	1,0g	1,0g

4. Расчет усилий, действующих на упаковку блок-пакетов пиломатериалов

Усилия, воспринимаемые упаковкой, в общем случае можно подразделить на статические и динамические, понимая под статическими силы гравитации составляющих частей блок-пакета (пакетов). Это или скатывание рядов, или опрокидывание стоп пакетов, составляющих блок [6]. В зависимости от формы и конструкции блок-пакета и его составляющих преобладают те или другие усилия.

Исходя из неизменяемости формы блок-пакета, которая создается за счет упаковки, уравнение сил, действующих на блок-пакет, можно составить в следующем виде:

для случая скатывания рядов пакетов

$$F_{ск} + F_d - F_{тр} = 0 \text{ (рис. 2, а);}$$

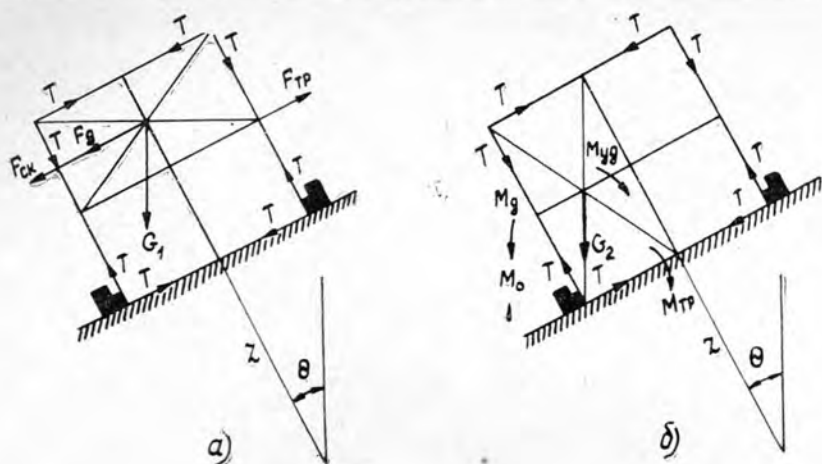


Рис. 2. К расчету усилий, действующих на упаковку блок-пакетов пиломатериалов.

а — для случая скатывания рядов пакетов; б — для случая опрокидывания стоп пакетов.

для случая опрокидывания стоп пакетов

$$M_0 + M_д - M_тр - M_уд = 0 \quad (\text{рис. 2, б}),$$

где $F_{ск}$ — скатывающая сила;

$F_д$ — воздействие динамической нагрузки;

$F_{тр}$ — сила трения от веса скатывающихся пакетов и от воздействия усилия натяжения упаковки;

M_0 — момент от веса опрокидывающейся стопы пакетов;

$M_уд$ — момент от веса пакетов, удерживающий стопу от опрокидывания;

$M_{тр}$ — момент от силы трения, препятствующей опрокидыванию стопы пакетов;

$M_д$ — момент опрокидывания от воздействия динамической нагрузки.

$$F_{ск} = G_1 \cdot \sin \theta;$$

$$F_д = \frac{G_1}{g} \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot (\theta \cdot z \pm r_1 \sin \theta);$$

$$F_{тр} = G_1 \cdot \cos \theta \cdot k_{тр} + 2T \cdot k_{тр}.$$

где $G_1 \cdot \cos \theta \cdot k_{тр}$ — сила трения от веса скатывающихся пакетов;

$2T \cdot k_{тр}$ — сила трения от усилия натяжения упаковки.

Уравнение формоустойчивости блок-пакета

$$G_1 \sin \theta + \frac{G_1}{g} \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot (\theta \cdot z \pm r_1 \sin \theta) = G_1 \cdot \cos \theta \cdot k_{тр} + 2T \cdot k_{тр}.$$

Отсюда величина усилия натяжения упаковки блок-пакета, обеспечивающая устойчивость его формы,

$$T = \frac{G_1 \left[\sin \theta + \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot (\theta z \pm r_1 \sin \theta) - \cos \theta \cdot k_{тр} \right]}{2k_{тр}}.$$

$$\text{При } \theta_{max} = 40^\circ; k_{тр} = 0,6; \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot (\theta_{max} \cdot z \pm r_1 \cdot \sin \theta_{max}) = 0,36g.$$

Усилие натяжения упаковки, необходимое для предотвращения скатывания пакетов в блок-пакете пиломатериалов при качке судна,

$$T = 0,45G_1.$$

где G_1 — вес скатывающихся рядов пакетов в блоке.

Рис. 3. Зависимость максимальной величины усилий, действующих на упаковку блок-пакета в условиях динамических (качательных) нагрузок, от соотношения размеров блок-пакетов и составляющих пакетов ($B \times H \times L = 0,96 \times 1,02 \times 1,8$ м).

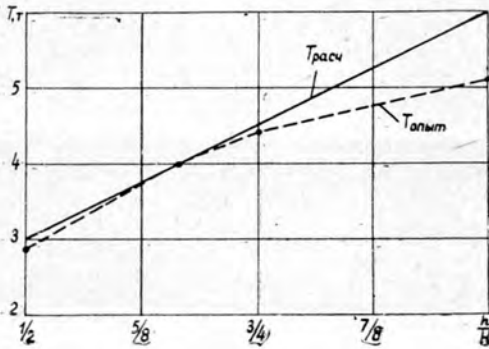
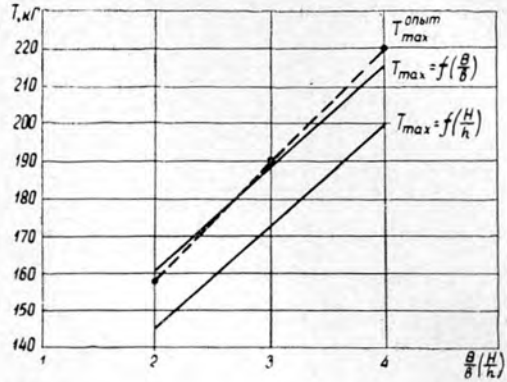


Рис. 4. Зависимость максимальной величины усилий, действующих на упаковку блок-пакета в условиях динамических (ускорительных) нагрузок от размеров пакетов и конструкции блок-пакета ($B \times H \times L = 2,5 \times 2,5 \times 6$ м).

$$G_1 = B \cdot (H - h) \cdot L \cdot \gamma \cdot k_{пл}$$

Для случая опрокидывания стоп пакетов

$$M_0 = G_2 \cdot \sin \theta \cdot \frac{H}{2};$$

$$M_d = \frac{G_2}{g} \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot (\theta z \pm r_1 \sin \theta) \cdot \frac{H}{2};$$

$$M_{уд} = G_2 \cdot \cos \theta \cdot \frac{b}{2}; \quad M_{тр} = 2T \cdot k_{тр} \cdot b.$$

Уравнение, выражающее условие формоустойчивости блок-пакета,

$$G_2 \cdot \sin \theta \cdot \frac{H}{2} + \frac{G_2}{g} \cdot \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot (\theta \cdot z \pm r \sin \theta) \cdot \frac{H}{2} = G_2 \cdot \cos \theta \cdot \frac{b}{2} + 2T \cdot k_{тр} \cdot b,$$

отсюда

$$T = \frac{G_2 \cdot \left[\sin \theta \cdot \frac{H}{2} + \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot (\theta \cdot z \pm r \sin \theta) \cdot \frac{H}{2} - \cos \theta \cdot \frac{b}{2} \right]}{2k_{тр} \cdot b}.$$

При $\theta_{max} = 40^\circ$; $k_{тр} = 0,72$; $\frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \cdot (\theta_{max} \cdot z \pm r_1 \sin \theta_{max}) = 0,36g$.

$$T_2 = \frac{G_2 \cdot (0,5H - 0,38b)}{1,44b}; \quad G_2 = H \cdot b \cdot L \cdot \gamma \cdot k_{пл}.$$

тогда

$$T = \frac{H \cdot L \cdot \gamma \cdot k_{пл} \cdot (0,5H - 0,38b)}{1,44}.$$

В случае динамической нагрузки ускорительного характера расчет величины нагружения упаковки блок-пакетов пиломатериалов упрощается. Условие неизменяемости формы блока

$$F_d - F_{тр} = 0;$$

$$F_d = ma = \frac{G}{g} \cdot 1g = G;$$

$$F_{тр} = G \cdot k_{тр} + 2T \cdot k_{тр}; \quad T = \frac{G - G \cdot k_{тр}}{2k_{тр}}.$$

$$\text{При } k_{тр} = 0,6 \div 0,72 \quad T = 0,3G = 0,3B \cdot H \cdot L \cdot \gamma \cdot k_{пл}.$$

Совпадение результатов опытов с расчетными данными подтвердило правильность метода динамического расчета упаковки блок-пакетов пиломатериалов при перевозках различными видами транспорта. Результаты экспериментов показаны на рис. 3 и 4.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. М. С. Комаров. Динамика грузоподъемных машин. Изд-во «Машиностроение», М., 1969. [2]. Технические условия погрузки и крепления грузов. Изд-во «Транспорт», М., 1969. [3]. И. А. Фельдман. Защита металлических изделий от коррозии. Упаковка, транспортировка и хранение грузов. Общие технические требования. Научный отчет ЦНИИМФА по теме ВС-25. 1., 1969. [4]. ЦНИИМПС. Современные методы исследований динамики вагонов. Выпуск трудов № 457, «Транспорт», М., 1972. [5]. Ю. А. Шиманский. Динамический расчет судовых конструкций. Государственное союзное издательство судостроительной промышленности. [6]. В. Ф. Щеглов. Исследование, испытание и разработка способов и средств упаковки пиломатериалов. Научный отчет ЦНИИМОДа по теме 16а, Архангельск, 1962.

УДК 674-416

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО РАДИУСА ИЗГИБА ШПОНА

З. И. ДЯЧУН

Львовский лесотехнический институт

Даны результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению предельного радиуса изгиба березового шпона. Получены эмпирические формулы для определения предельного радиуса изгиба березового шпона в зависимости от его толщины, влажности и расположения на выпуклой поверхности правой или левой сторон.

При изготовлении гнукотклеенных блоков мебели из шпона важным фактором является радиус кривизны изгибаемого пакета, обеспечивающий бездефектное гнутье. Предельным радиусом изгиба шпона назван максимальный внутренний радиус R_n , при котором появляются следы разрушения (изломы, трещины, отколы).

Рассматривая шпон как деревянную пластину и пользуясь данными исследований П. Н. Хухрянского, мы определили теоретический предельный радиус изгиба шпона:

$$R_n^T = \frac{2\eta}{(1 + \eta)^2} \left(1 - \varepsilon_p^{max} \right) - \varepsilon_p^{max} \delta = \delta C_1, \quad (1)$$

где δ — толщина шпона;

$\eta = \frac{\sigma_{пр}}{\sigma_{п.с}}$ — отношение предела прочности при растяжении вдоль волокон к пределу прочности при сжатии вдоль волокон;

ε_p^{max} — максимальная относительная деформация шпона при растяжении вдоль волокон

По формуле (1) определяли коэффициент C_1 для различной влажности W древесины березы. Так, для $W = 5\%$ коэффициент $C_1 = 44,3$; $7\% - 43,3$; $10\% - 40,9$; $12\% - 39,7$; $15\% - 37,7$. Величины η и ϵ_p^{max} вычисляли по перерасчетным формулам руководящих технических материалов «Древесина. Показатели физико-механических свойств» (Стандартгиз, М., 1962).

На основании значений коэффициента C_1 получены графические зависимости $R - \delta$ для березы разной влажности (рис. 1) и $R_n^T - W$ для разных толщин шпона (рис. 2).

Механические свойства массивной древесины и древесины шпона различны, так как шпон подвергался гидротермической обработке; кроме того, сам процесс получения шпона (лущение) оказал влияние на нарушение поверхностного слоя на правой и левой сторонах шпона. Это и привело к необходимости определения предельного радиуса изгиба шпона.

Специально разработанный прибор позволяет проводить исследования при однократном нагружении (изгибе) образца и фиксировать радиус его изгиба в момент появления дефектов на выпуклой поверхности шпона. Прибор устраняет недостатки ранее предложенных приспособлений для изгиба шпона при многократном его нагружении на поверхностях с различными радиусами.

Исследования проводили на образцах березового шпона различной толщины, разной влажности и при различном расположении на выпуклой поверхности правой и левой сторон шпона при простом гнутье*. Толщина шпона 0,70; 0,95; 1,50 и 1,85 мм, влажность 6—15% с градацией через каждые 2—3%. После лущения шпон подсушивали в терморадикационной сушилке и раскраивали на образцы размером 250×30 мм. Для опытов отбирали образцы без дефектов (сучков, вмятин, косослоя, загрязнений и т. п.) и выдерживали в эксикаторах с серной кислотой на протяжении 30—40 дней, что позволило выровнять их влажность с отклонением $\pm 5\%$. Влажность контролировали весовым методом по ГОСТу 1143—41 «Методы испытаний физико-механических свойств авиационной фанеры и авиационного шпона». Отклонения толщины различных образцов шпона соответствовали ГОСТу 99—63 «Шпон лущеный». Количество опытов равнялось 28 с числом наблюдений 700.

Обработка данных методом вариационной статистики и по способу наименьших квадратов позволила получить общие эмпирические уравнения для определения предельного радиуса изгиба березового шпона в зависимости от его толщины и влажности: при расположении на выпуклой поверхности правой стороны шпона

$$R_n^T = (33,157 - 0,830W)\delta - (7,812 + 0,285W); \quad (2)$$

при расположении на выпуклой поверхности левой стороны шпона

$$R_n^L = (38,67 - 1,72W)\delta^{1,856} - 0,04^3 W^3. \quad (3)$$

Статистический показатель точности не превышает 5%. Максимальная разница между опытными данными и вычисленными по формулам (2) и (3) значениями не превышает 10% и в среднем составляет 5,7% для формулы (2) и 7,3% для формулы (3). Зависимости предельного радиуса изгиба шпона от его влажности и толщины, полученные на основе экспериментальных данных, изображены на рис. 3.

Таблица 1

Предельный радиус изгиба шпона	Значения радиуса изгиба, мм, при толщине шпона δ , мм			
	0,70	0,95	1,50	1,85
Теоретический R_n^T	28,63	38,85	61,35	75,66
Экспериментальный R_n^T	6,74	12,96	26,62	35,32
Отношение $m = \frac{R_n^T}{R_n^T}$	4,25	3,00	2,30	2,14

Теоретические и опытные значения предельного радиуса изгиба шпона при влажности 10% приведены в табл. 1, из данных которой видно, что отношение теоретического радиуса к опытному уменьшается с увеличением толщины шпона. Это позволяет утверждать, что с повышением толщины шпона его механические свойства приближаются

* Согласно определению П. Н. Хухрянского, при простом гнутье бруску или пластинке придают криволинейную форму, причем поперечное сечение изгибаемой древесины* остается практически неизменным.

к механическим свойствам массивной древесины. Большую разницу между R_{II}^T и R_{II}^H для тонкого шпона можно объяснить глубоким нарушением структуры его древесины и повышенными механическими свойствами упрессованного поверхностного слоя, относительная толщина которого у тонкого шпона больше.

В процессе проведения опытов наблюдался различный характер разрушения образцов тонкого и толстого шпона (при выпуклой левой стороне). Так, при изгибе шпона толщиной до 1 мм появлялись микротрещины, однако разрушение образцов происходило от разрыва волокон выпуклой зоны. Причиной разрушения более толстого шпона были отщепы целых пучков волокон, которые в дальнейшем образовывали крупные отщепы.

Значения опытного предельного радиуса изгиба шпона при расположении на выпуклой поверхности правой или левой его сторон приведены в табл. 2 при влажности 10%.

Таблица 2

Предельный радиус изгиба на выпуклой поверхности шпона	Значения предельного радиуса изгиба, мм, при толщине шпона δ , мм			
	0,70	0,95	1,50	1,85
Правой стороны R_{II}^H	6,74	12,94	26,2	35,03
Левой стороны R_{II}^T	9,68	19,14	53,41	85,70
Отношение $m' = \frac{R_{II}^H}{R_{II}^T}$	1,44	1,48	2,00	2,42

Табличные данные показывают, что величина m' увеличивается с возрастанием толщины шпона. Это объясняется увеличением количества трещин и их глубины с левой стороны у толстого шпона. Левая же сторона тонкого шпона покрыта незначительным количеством трещин (трещины могут и отсутствовать), чем и объясняется незначительное расхождение между величинами R_{II}^H и R_{II}^T . С точки зрения сопротивления материалов, разница между этими величинами объясняется различным сопротивлением растяжению волокон древесины на правой и левой сторонах шпона. Трещины, перерезанные и разрыхленные поверхностные слои древесины шпона на левой его стороне при изгибе способствуют образованию отколов на выпуклой поверхности еще до момента разрыва волокон. Этот дефект изгиба в большей степени проявляется с возрастанием толщины и уменьшением влажности шпона.

Таким образом, теоретические формулы для определения предельного радиуса изгиба массивной древесины не могут быть использованы для вычисления предельного радиуса изгиба лущеного шпона. Для березового шпона с достаточной точностью можно применять формулы (2) и (3), полученные на основе экспериментальных исследований. Предельный радиус изгиба при расположении на выпуклой поверхности левой стороны шпона значительно больше, чем на поверхности правой стороны; это связано с изменением поверхностной структуры шпона, полученной в процессе его лущения.

УДК 674.047

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФОРМЫ ДЛЯ РАСЧЕТОВ КИНЕТИКИ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

А. М. ПЕТРОВСКИЙ

УкрНИИМОД

Приведены результаты исследований величин коэффициентов формы, которые можно применять в расчетах продолжительности сушки пиломатериалов различных размеров поперечных сечений. По расчетным данным построена номограмма для определения коэффициентов формы в зависимости от массообменного критерия Био и отношения толщины к ширине пиломатериалов.

Как известно, для условий сушки, когда процесс сушки лимитируется влаготдачей или влагопроводностью, влияние ширины пиломатериалов на продолжительность сушки выражается соответственно обобщенным гидравлическим радиусом и приведен-

ной толщиной. Для условия $0 < Bi' < \infty$ (Bi — критерий Био) регулярного режима сушки величина приведенной толщины характеризуется сложной математической зависимостью*

$$S_{пр} = \sqrt{\frac{\pi^4}{16H^2} + \frac{S_1^2 \cdot S_2^2}{S_1^2 + S_2^2} \left[1 + \frac{\pi^2 (S_1^2 + S_2^2)}{2HS_1S_2(S_1 + S_2)} \right]} - \frac{\pi^2}{4H}, \quad (1)$$

где H — отношение коэффициентов влагоотдачи к коэффициентам влагопроводности, $\frac{1}{см}$;

S_1 и S_2 — соответственно толщина и ширина пиломатериалов, $см$.

Чтобы облегчить расчеты при различных поперечных сечениях, преобразуем уравнение (1)

$$S_{пр} = \frac{S_1}{8Bi'_x} \left[\sqrt{\frac{\pi^4 (1 + K^2) (1 + K) + 64 (Bi'_x)^2 \cdot (K + 1) + 16\pi^2 Bi'_x K^2 + 1}{K^3 + K^2 + K + 1}} - \pi^2 \right], \quad (2)$$

$$\text{где} \quad S_{пр} = S_1 C_{\Phi}, \quad (3)$$

K — отношение толщины к ширине пиломатериалов, $\frac{S_1}{S_2}$;

Bi'_x — критерий Био, рассчитанный по толщине пиломатериалов;

C_{Φ} — коэффициент формы, применяемый для перехода от размеров реального сечения пиломатериалов к размерам эквивалентной по продолжительности сушки неограниченной пластины.

$$C_{\Phi} = \frac{1}{8Bi'_x} \left[\sqrt{\frac{\pi^4 (1 + K^2) \cdot (1 + K) + 64 (Bi'_x)^2 \cdot (K + 1) + 16\pi^2 Bi'_x (K^2 + 1)}{K^3 + K^2 + K + 1}} - \pi^2 \right]. \quad (4)$$

Для брусков ($\frac{S_1}{S_2} = 1$) величину приведенной толщины обозначим через S_r . Анализ численных значений обобщенного гидравлического радиуса и приведенной толщины для брусков показал, что величины их соответственно равны катету AC и гипотенузе

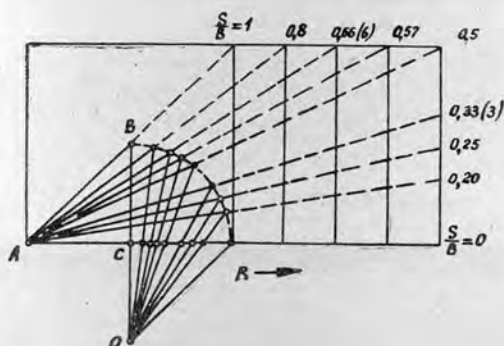


Рис. 1. Влияние ширины пиломатериалов на изменение величин приведенной толщины и обобщенного гидравлического радиуса.

AB треугольника ABC (рис. 1); при этом с уменьшением критерия Био от ∞ до 0 значение $S_{пр}$ снижается от величины AB до AC , а также уменьшается угол наклона гипотенузы AB . Поэтому

$$S_{пр} = \frac{S_r}{\cos \alpha}. \quad (5)$$

Решая выражение (5) относительно $\cos \alpha$, получим

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi^4}{16 (Bi'_x)^2} + 2 + \frac{\pi^2}{2 Bi'_x} - \frac{\pi^2}{4 Bi'_x}}}. \quad (6)$$

* П. С. Серговский. Исследование влагопроводности и разработка методов расчета процессов сушки и увлажнения древесины. Докторская диссертация. МЛТИ, М., 1954.

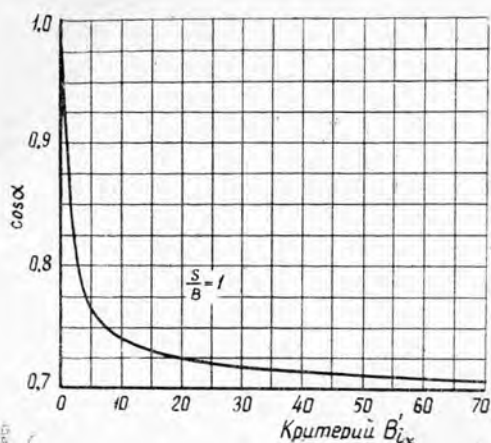
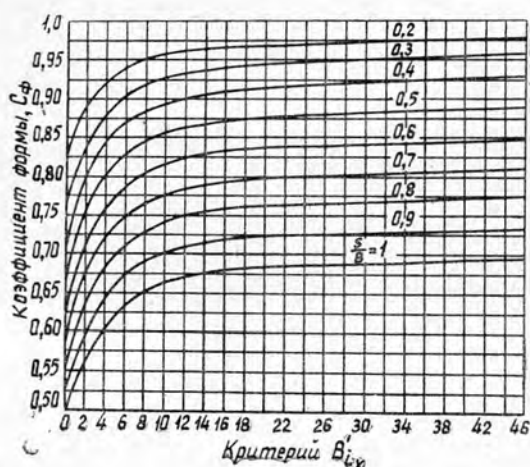


Рис. 2. Зависимость $\cos \alpha$ от массообменного критерия Bi_x , рассчитанного по толщине брусков.

Рис. 3. Номограмма для определения коэффициентов формы.



Для удобства определения коэффициентов формы и $\cos \alpha$ построены кривые (рис. 2 и 3).

Следовательно, величины коэффициентов формы зависят от отношения толщины к ширине пиломатериалов и от значений критерия Био, рассчитанного по толщине сортиментов.

УДК 674.05

К ПРОЧНОСТНОМУ РАСЧЕТУ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА

В. Д. ДУНАЕВ

ЦНИИМОД

Рассмотрено распределение нормальных напряжений изгиба на гранях реального клина как функция расстояния от его вершины. Дана расчетная формула, изложены закономерности, вытекающие из ее анализа. Приведены результаты опытов, подтверждающие теоретические выводы.

Во многих случаях, особенно при сравнительно небольших углах заострения и хрупком инструментальном материале, причиной разрушения режущей части инструмента могут быть нормальные напряжения от изгиба силами резания.

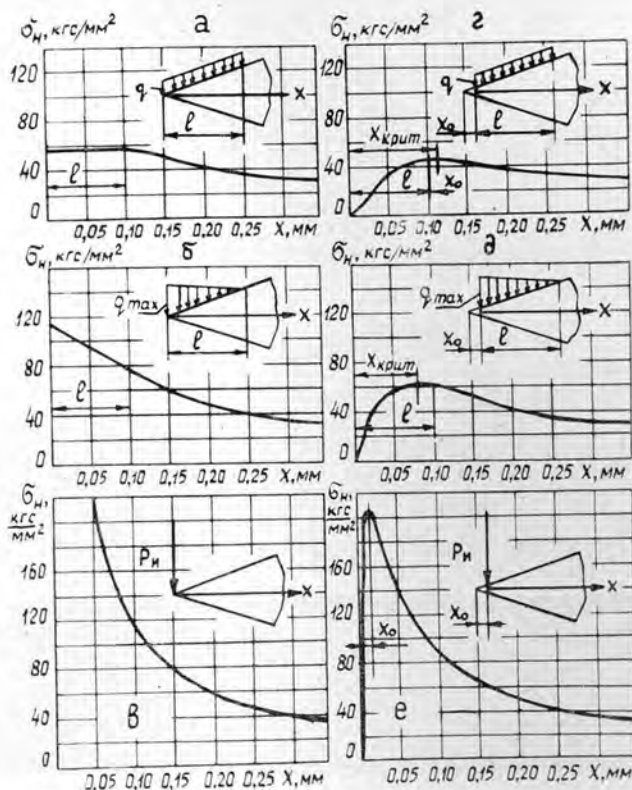


Рис. 1. Напряжения на передней грани абсолютно острого (а, б, в) и реального (г, д, е) клиньев. Расчетные данные: удельная изгибающая сила $\frac{P_{из}}{b} = 1 \text{ кгс/мм}$; длина эпюры $l = 0,1 \text{ мм}$; острота реального клина $\alpha = 0,01 \text{ мм}$.

Нормальные напряжения рассчитывают по формулам, выведенным для абсолютно острого клина. Если напряжения на гранях реза рассматривать как функцию расстояния от вершины, то оказывается, что при распределенной нагрузке, интенсивность которой уменьшается от вершины, расчетные напряжения убывают в том же направлении. На рис. 1, б изображена кривая σ_n для точек передней грани при нагрузке, интенсивность которой уменьшается по линейному закону. При равномерно распределенной нагрузке напряжения имеют постоянную величину на участке эпюры, затем убывают (рис. 1, а). Принимая нагрузку сосредоточенной в вершине, получаем расчетные напряжения, убывающие от бесконечно большой величины (рис. 1, в).

Такое распределение напряжений не согласуется с практическими данными о величине изломов режущих кромок. Источник противоречия — расчетная схема, в которой резец принимают в виде абсолютно острого клина. Поскольку высота сечения в вершине этого теоретического клина равна нулю, то нормальные напряжения (как отношение изгибающего момента, равного в вершине клина нулю, к моменту сопротивления сечения, равного нулю) представляются, в соответствии с законом математки, конечной величиной (при распределенной нагрузке, не равной в вершине нулю) или бесконечно большими числами (при сосредоточенной нагрузке, приложенной в вершине).

Если обратиться к реальному клину, то есть принять высоту сечения в вершине не равной нулю, то кривые распределения нормальных напряжений принимают естественную форму (рис. 1, г, д, е). В вершине, где изгибающий момент равен нулю, а высота сечения не равна нулю, нормальных напряжений нет. На достаточно большом расстоянии от вершины напряжения стремятся к нулю, так как изгибающий момент расходится в линейной зависимости от расстояния до рассматриваемого сечения, а момент сопротивления сечения — в квадратичной. Следовательно, на некотором расстоянии от вершины располагается максимум нормальных напряжений (опасное сечение).

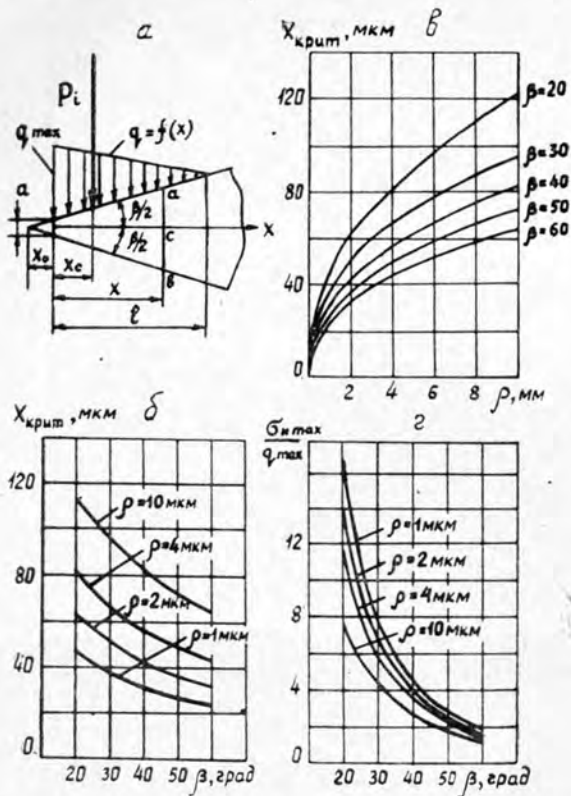


Рис. 2. Положение опасного сечения и напряжения в нем при нагрузке, линейно убывающей от вершины (расчетные данные те же, что для рис. 1).

В настоящей статье изложены результаты проведенного нами теоретического анализа и экспериментальной проверки этой гипотезы.

Расчетная схема представлена на рис. 2, а (частный случай — треугольная эпюра нагрузки — изображен с целью иллюстрации соседних графиков, вообще же эпюра может иметь любую форму). Резец имеет остроту a , угол заострения β и нагружен вблизи вершины изгибающими силами, распределенными по закону

$$q = f(x).$$

Общее выражение для нормальных напряжений изгиба $\sigma_{н}$ на гранях резца в зависимости от расстояния x от его вершины имеет вид

$$\sigma_{н} = \frac{P_i (x - x_c)}{\frac{b}{6} \left(a + 2x \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \right)^2}, \quad (1)$$

где $P_i = \int_0^x f(x) dx$ — равнодействующая нагрузки, расположенной левее сечения acb с координатой x ;

$$x_c = \frac{\int_0^x f(x) x dx}{\int_0^x f(x) dx} — \text{координата точки приложения равнодействующей } P_i;$$

$S_i = \int_0^x f(x) x dx$ — статический момент нагрузки, действующей левее сечения acb , относительно начала координат (вершины резца);
 b — длина нагруженной части режущей кромки (ширина резца).

Пример расчета $\sigma_{н}$ для случая изгибающей нагрузки, убывающей от вершины по линейному закону

$$q = q_{max} \left(1 - \frac{x}{l} \right);$$

Имеем:

$$P_i = q_{max} \int_0^x \left(1 - \frac{x}{l}\right) dx = q_{max} \left(x - \frac{x^2}{2l}\right);$$

$$S_i = q_{max} \int_0^x \left(1 - \frac{x}{l}\right) x dx = q_{max} \left(\frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3l}\right) = \frac{q_{max}}{6l} (3lx^2 - 2x^3);$$

$$x_c = \frac{\frac{q_{max}}{6l} (3lx^2 - 2x^3)}{\frac{q_{max}}{2l} (2lx - x^2)} = \frac{3lx - 2x^2}{6l - 3x};$$

$$x - x_c = \frac{3lx - x^2}{6l - 3x}.$$

Подставляя полученные выражения для P_i и $x - x_c$ в уравнение (1), получим

$$\sigma_{н} = \frac{q_{max} (3lx^2 - x^3)}{bl \left(a + 2x \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}\right)^2}. \quad (2)$$

Выражение (2) относится к сечениям, находящимся в пределах эпюры изгибающей нагрузки ($x < l$).

Для сечений за пределами эпюры $x_c = \frac{l}{3} = \text{const}$ и выражение (1) принимает вид:

$$\sigma_{н} = \frac{q_{max} (3lx - l^2)}{b \left(a + 2x \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}\right)^2}. \quad (2a)$$

Место опасного сечения (максимум $\sigma_{н}$) определяли путем исследования производной $\frac{d\sigma_{н}}{dx}$ для частных случаев распределения нагрузки. Примеры полученных кривых $\sigma_{н}$ даны на рис. 1, з, д, е.

При симметричных эпюрах $q = f(x)$ максимум $\sigma_{н}$ находится за пределами эпюры на расстоянии

$$x_{\text{крит}} = l + x_0, \quad (3)$$

где x_0 — расстояние от фактической вершины резца до точки пересечения профиля его граней.

Если считать нагрузку сосредоточенной в вершине, то $l=0$, $x_{\text{крит}} = x_0$ (рис. 1, е).

При нагрузке, линейно убывающей от вершины,

$$x_{\text{крит}} = \sqrt{\left(\frac{3}{2} x_0\right)^2 + 6lx_0} - \frac{3}{2} x_0, \quad (4)$$

если $x_0 < \frac{l}{3}$, что обычно соответствует практическим условиям резания.

Расположение максимума $\sigma_{н}$ подчиняется следующему правилу. Расстояние от точки пересечения профиля граней резца до опасного сечения равно удвоенному расстоянию от этой точки до точки приложения равнодействующей нагрузки, вызывающей напряжения в опасном сечении.

Если перенести начало координат в точку пересечения профиля граней, то

$$x_{\text{крит}} = 2x_c. \quad (5)$$

При совмещении начала координат с фактической вершиной резца

$$x_{\text{крит}} = 2x_c + x_0. \quad (5a)$$

Если известен закон распределения нагрузки с несимметричной эпюрой, то подставляя значение x_c в выражение (5a), получим $x_{\text{крит}}$, не прибегая к исследованию производной. Например, если изгибающая нагрузка убывает от вершины по параболическому закону:

$$q = q_{max} \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right);$$

то

$$x_c = \frac{\int_0^x q_{max} \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right) x dx}{\int_0^x q_{max} \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right) dx} = \frac{3(2l^2x - x^3)}{4(3l^2 - x^2)};$$

$$x_{крит} = 2x_c + x_0 = \frac{3(2l^2x_{крит} - x_{крит}^3)}{2(3l^2 - x_{крит}^2)} + x_0.$$

После преобразований имеем

$$x_{крит}^3 + 2x_0x_{крит}^2 - 6l^2x_0 = 0. \quad (6)$$

Положительный действительный корень этого уравнения, соответствующий физическому смыслу задачи, можно найти подбором, графически или другим методом приближенного решения уравнений при известных значениях x_0 и l .

Для симметричных эюр $x_c = \frac{l}{2}$ и, как указано выше, $x_{крит} = l + x_0$.

«Правило максимума» можно объяснить следующим образом.

Напишем выражение (1) для случая расположения начала координат в точке пересечения профиля граней

$$\sigma_{н} = \frac{P_t(X - X_c)}{\frac{b}{6} \cdot 4 \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2} \cdot X^2}$$

или в более общем виде

$$\sigma_{н} = k \cdot P_t \frac{X - X_c}{X^2}, \quad (7)$$

где k — коэффициент, зависящий от угла заострения резца, положения нейтральной оси, характера выбранной гипотезы о распределении напряжений в сечении и др.

Функция $\frac{X - X_c}{X^2}$ имеет максимум при $X = 2X_c$, чем и обусловлено приведенное выше правило максимума.

Параметр x_0 можно рассматривать как функцию остроты резца a и угла заострения β

$$x_0 = \frac{a}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}$$

или для округленного лезвия

$$x_0 = \rho \left(\operatorname{csc} \frac{\beta}{2} - 1 \right),$$

поэтому $x_{крит}$ — функция остроты резца, угла заострения и длины эюры изгибающей нагрузки (при заданной форме эюры).

На рис. 2, б показана зависимость величины $x_{крит}$ (расстояние от вершины до опасного сечения) от угла заострения β , на рис. 2, в — от остроты резца ρ , на рис. 2, г — влияние угла заострения и остроты резца на величину напряжений в опасном сечении (при треугольной форме эюры и длине 0,1 мм). С уменьшением угла заострения опасное сечение удаляется от вершины, а напряжения в опасном сечении при этом резко возрастают. С увеличением ρ (затупление резца) опасное сечение тоже удаляется от вершины, однако напряжения при этом убывают.

Характер зависимости величины и вероятности изломов режущих кромок от остроты и угла заострения резца хорошо согласуется с практическими данными. Для

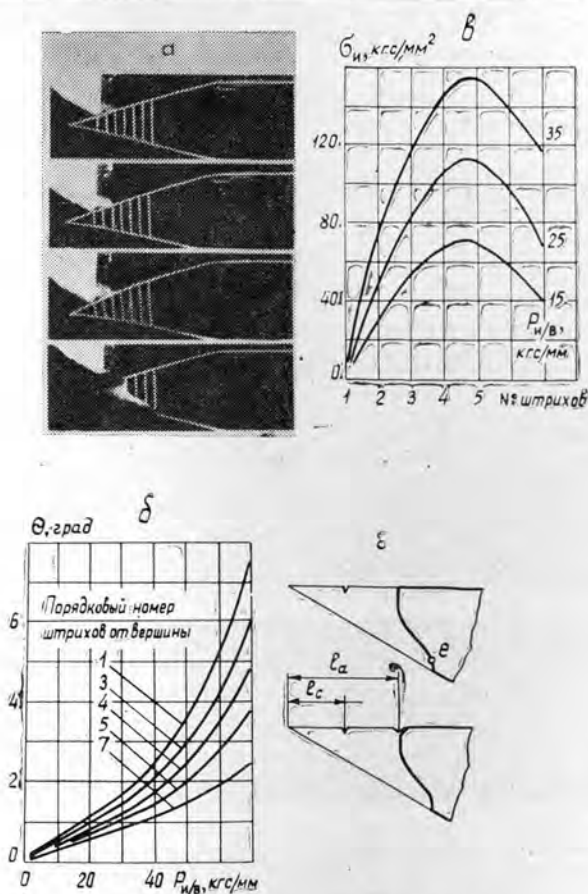


Рис. 3. Опытные данные по изгибу стальных резцов сосредоточенной силой.

проверки наличия и положения максимума $\sigma_{и}$ проведены две серии опытов с нагружением стальных резцов сосредоточенной нагрузкой.

В первой серии опытные образцы имели вид гребенок с пятнадцатью зубьями-резцами. Ширина резцов 2 мм; угол заострения 15, 30, 40°; твердость образцов 58 HRC. Нагрузку прикладывали на расстоянии 0,3—1,0 мм от вершины, перпендикулярно биссектрисе угла заострения или передней грани. На отломленных при нагружении кончиках резцов измеряли под микроскопом расстояния l_c от вершины до следа пуансона и l_a от вершины до следа разрушения на передней грани. Отношение $\frac{l_a}{l_c}$, как и следовало ожидать, близко к 2. Отметим, что в условиях опыта $\frac{l_a}{l_c}$ практически равно $\frac{X_a}{X_c}$. Рассеяние величины l_a подчиняется закону нормального распределения с небольшой асимметрией в ту сторону, где напряжения изменяются более медленно (за теоретическим максимумом).

Во второй серии опытов одиночные резцы шириной 1 мм со штрихами, нанесенными на боковую полированную поверхность, фотографировали через микроскоп в процессе нагружения. На рис. 3, а показаны снимки резца при нагружении силой $\frac{P_{и}}{b}$,

равной 25, 45, 65 кгс, и после разрушения силой 68,7 кгс. С помощью инструментального микроскопа БМИ измеряли угол поворота штрихов θ .

На рис. 3, б даны кривые зависимости θ от изгибающей силы ($\beta = 30^\circ$, $l_c = 1$ мм). Расчет напряжений по величине приращения угла поворота штрихов $\Delta\theta$ до предела пропорциональности стали дал кривые (рис. 3, в), сходные с теоретическими, однако величина $\sigma_{и}$ оказалась на 20—30% ниже. Показанные на рис. 3, г изломы имели две типичные формы. При хрупком разрушении поверхностного слоя металла излом начинается в плоскости, перпендикулярной передней грани. При развитии пластической деформации, выражающейся в образовании впадины на передней грани, проис-

ходит срез поверхностного слоя толщиной около 0,1 мм под углом 45° к передней грани, после чего идет хрупкое разрушение аналогично первой форме. Направление хрупкого разрушения совпадает (до точки *e* на рис. 3, *г*) с направлением главных напряжений растяжения в клине.

Не имея возможности подробно рассмотреть в данной статье вопрос о правомерности применения гипотезы плоских сечений к расчету реза, укажем лишь на то обстоятельство, что распределение σ_n по граням клина не зависит от выбора гипотезы. Цель сделанных расчетов — рассмотреть в сложной картине распределения напряжений в резце важную закономерность, которую необходимо учитывать при разработке методики расчета.

УДК 541.13 : 634.0.86

СПОСОБ РЕГЕНЕРАЦИИ НАТРИЯ ИЗ ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е. М. ГОЛУБЧИК

Брянский технологический институт

Приводится описание разработанного электрохимического метода регенерации черного щелока, получающегося при щелочной варке целлюлозы. Показано, что в одном электролизере при относительно небольших затратах может быть регенерировано до 98—99% гидроокиси натрия.

В производстве целлюлозы щелочной варкой измельченную древесину нагревают на стадии варки с белым щелоком, который содержит едкий натр для растворения гемицеллюлоз, лигнина и остальных извлекаемых компонентов. Полученную вываренную волокнистую массу отделяют от образующегося черного щелока и подают на отбелку, а черный щелок направляют на регенерацию [1] — [2].

В процессе регенерации черный щелок концентрируют упариванием, затем концентрат сжигают в печи для получения плава, содержащего углекислый натрий. Плава растворяют в воде с целью получения зеленого щелока, который затем осветляют. Осветленный щелок подвергают каустификации известью, при этом углекислый натрий превращается в едкий натр. Углекислый кальций, который осаждается в процессе каустификации щелока, отделяют от него в виде шлама и обжигают с целью восстановления извести для дальнейшего использования. Из отфильтрованного зеленого щелока образуется белый щелок, который используют на стадии варки.

Ю. Н. Непенин с сотрудниками [3] сообщают о разработанном ими электролитическом способе регенерации NaOH из сульфитных щелоков. Этот способ основан на электролизе раствора с катионо- и анионоселективными мембранами. Минимальный расход электроэнергии 50 квт-час на 1 кг Na. Выход по току 60%. По данным этих авторов, обработку целесообразно проводить в несколько стадий. При девяти ступенях подвергается регенерации до 96—99% натрия.

Недостатки описанных способов регенерации черного щелока целлюлозного производства: 1) большое количество операций при регенерации (испарение воды, сжигание концентрированного щелока, растворение плава, каустификация известью раствора, обжиг образовавшегося углекислого кальция); 2) большие затраты энергии на испарение воды при концентрировании черного щелока, на сжигание выпаренного щелока, на регенерацию извести; 3) потери солей натрия и гидроокиси натрия на всех перечисленных операциях.

Целью нашей работы было найти способ регенерации черного щелока целлюлозного производства, который имел бы меньшее число технологических операций и требовал более низких затрат энергии. Применение электрохимического метода извлечения натрия непосредственно из черного щелока, подлежащего регенерации, позволило решить поставленную задачу.

Черный щелок, который приготавливали из отдельных компонентов в лаборатории, имел следующий состав: NaOH — 70 г/л, сульфатнощелочного лигнина 80 г/л. Регенерацию производили в опытном электролизере (рис. 1), представляющем собой четырёхугольную ванну с перегородкой. Ванну и перегородку изготовляли из оргстекла. Перегородка тонела при заполнении электролизера ртутью на 1,0 см. Анодом служила никелевая пластинка, катодом — донная ртуть. Регенерируемый черный щелок поступал в правое отделение электролизера. Восстанавливаемый натрий образовывал с катодной ртутью амальгаму, которая мешалкой перемещалась в левое отделение электролизера. В этом отделении происходило взаимодействие амальгамы с водой с образованием раствора гидроокиси натрия, годного для варки древесной щепы.

Для ускорения разложения амальгамы в левое отделение электролизера помещали угольный электрод, который образовывал короткозамкнутый элемент. Режим

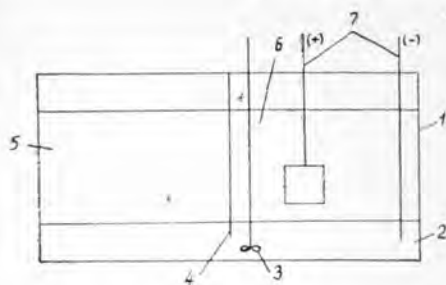


Рис. 1. Схема электролизера для регенерации натрия из черного щелока целлюлозного производства.

1 — корпус электролизера; 2 — донная ртуть — катод; 3 — мешалка; 4 — перекатки; 5 — белый щелок; 6 — черный щелок; 7 — электроды.

электролиза: катодная плотность тока $0,4 \text{ а/дм}^2$ (что в 8 раз превышает скорость электродного метода), напряжение на ванне $4,2\text{--}4,8 \text{ в}$, температура раствора $20\text{--}30^\circ\text{C}$, выход по току $94\text{--}96\%$. Так как по мере удаления натрия из черного щелока электропроводность раствора падает, то полное извлечение натрия экономически невыгодно из-за повышения напряжения на ванне. При указанных выше напряжении на электролизере и выходе по току удавалось извлекать натрий из черного щелока на $98\text{--}99\%$. Минимальный расход электроэнергии составил в среднем $3,43 \text{ квт-час}$ на 1 кг регенерированной щелочи, что значительно меньше расхода энергии, необходимой на проведение только первой стадии выпаривания черного щелока при его концентрировании. Таким образом, регенерацию осуществляли в одном электролизере и в одну стадию. При осуществлении рассматриваемого метода регенерации черного щелока отпадает необходимость в выпаривании его и сжигании, отпадают также операции, связанные с каустификацией зеленого щелока и появляется возможность полного вывода хлористого натрия из цикла. Кроме этого, возникает возможность использования органических веществ, извлекаемых при регенерации черного щелока.

Технологические потери щелочи можно восполнить введением наиболее дешевой натриевой соли в отделение электролизера вместе с поступающим на регенерацию черным щелоком. Если по технологии варки древесной щелы требуется присутствие в белом щелоке сульфида натрия, то его необходимо добавлять в отходящий из электролизера белый щелок, так как анион сероводородной кислоты электрохимическим методом не регенерируется.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. И. Никитин. Химия древесины. Изд. АН СССР, М., 1951, стр. 522.
[2]. Рихард Лайм Хаммел. Авторское свидетельство СССР № 223710. Бюллетень изобретений № 24 от 2 августа 1968 г. [3]. Б. Н. Филатов, Ю. Н. Непенин, Г. Н. Журавлева. Журн. «Бумажная промышленность» № 2, 1971, стр. 4—6.

УДК 62-52

СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

И. Б. ПОТАПОВСКИЙ, Б. В. КОВЫЛОВ

Уральский лесотехнический институт

Рассмотрена схема, при помощи которой можно измерять $\cos \varphi$ с учетом направления реактивной мощности. Проведен анализ схемы, показывающий, что при определенных условиях сигнал, формируемый на выходе, не зависит от величины тока, потребляемого нагрузкой сети.

Вопросам повышения коэффициента мощности ($\cos \varphi$) электроустановок промышленных предприятий уделяется большое внимание, так как это экономия электрической энергии за счет уменьшения потерь в генераторах, трансформаторах, двигателях и в линиях электропередачи [1].

Для повышения $\cos \varphi$ на предприятиях включают различные устройства, компенсирующие реактивную мощность. Наибольший экономический эффект дают устройства, управление которыми осуществляется автоматически. Для этого применяют различные типы регуляторов, реагирующих на уровень напряжения, величину тока, направление реактивной мощности или на величину коэффициента мощности [2].

По нашему мнению, более приемлемы регуляторы, непосредственно реагирующие как на величину коэффициента мощности, так и на направление реактивной мощ-

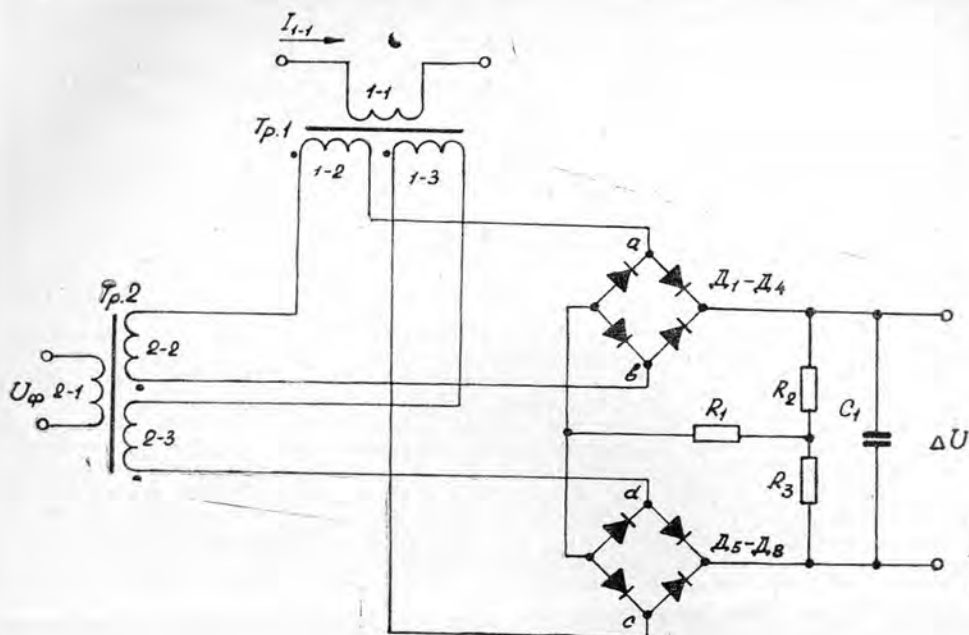


Рис. 1.

ности. На рис. 1 изображена схема измерения $\cos \varphi$, которую можно использовать в качестве чувствительного элемента в регуляторах подобного типа. Схема состоит из двух линейных трансформаторов, двух полупроводниковых выпрямителей мостового типа и резисторного элемента сравнения.

Каждый трансформатор имеет одну первичную и две идентичные вторичные обмотки. Первичная обмотка трансформатора Тр. 1 при помощи стандартного трансформатора тока включается в разрыв фазы, а первичная обмотка трансформатора Тр. 2 — между этой же фазой и нулевой шиной.

Напряжения, индуцируемые во вторичных обмотках трансформаторов Тр. 1 и Тр. 2, при синусоидальных фазовых напряжениях и токах также синусоидальны. При этом напряжения, индуцируемые во вторичных обмотках Тр. 1, пропорциональны силе тока, протекающего через первичную обмотку,

$$\dot{U}_{1-2} = \dot{U}_{1-3} = j\omega M \dot{I}_{1-1}, \quad (1)$$

где \dot{U}_{1-2} и \dot{U}_{1-3} — напряжения, индуцируемые во вторичных обмотках;

ω — угловая частота сети;

M — коэффициент взаимной индукции;

\dot{I}_{1-1} — сила тока, протекающего через первичную обмотку.

Из формулы (1) следует, что напряжения по величине равны $\omega M \dot{I}_{1-1}$, а по фазе опережают силу тока \dot{I}_{1-1} на 90° . Очевидно, во вторичных обмотках трансформатора Тр. 2 индуцируются напряжения \dot{U}_{2-2} и \dot{U}_{2-3} , находящиеся в противофазе относительно напряжения, подводимого к первичной обмотке.

Вторичные обмотки трансформаторов Тр. 1 и Тр. 2 соединяются попарно, образуя цепи ab и cd . При этом обмотки 1-2 и 2-2, образующие цепь ab включены последовательно, а обмотки 1-3 и 2-3, образующие цепь cd , соединены встречно. Комплексы результирующих напряжений в этих цепях

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{1-2} + \dot{U}_{2-2}; \quad (2)$$

$$\dot{U}_{cd} = \dot{U}_{1-3} + \dot{U}_{2-3}. \quad (3)$$

В результате действия этих напряжений через элемент сравнения (резисторы R_2 и R_3) протекают токи, которые предварительно выпрямляются при помощи двухполу-

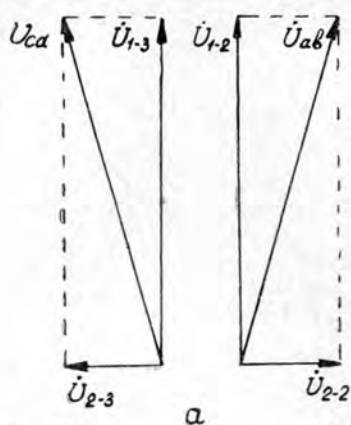
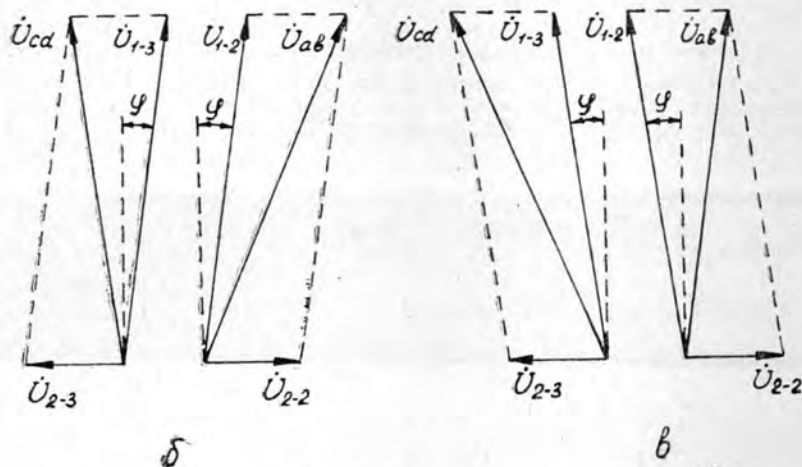


Рис. 2. Векторные диаграммы, поясняющие работу схемы измерения.

a — при активной нагрузке сети; *б* — при индуктивной нагрузке сети; *в* — при емкостной нагрузке сети.



риодных мостовых выпрямителей. Эти токи направлены навстречу друг другу и на резисторах R_2 и R_3 создают разностное падение напряжения ΔU (резисторы R_2 и R_3 равны). Для сглаживания пульсаций выходного напряжения параллельно резисторам R_2 и R_3 включается конденсатор C_1 .

При $\cos \varphi = 1$ напряжения \dot{U}_{1-2} и \dot{U}_{1-3} сдвигаются по фазе на 90° относительно напряжений \dot{U}_{2-2} и \dot{U}_{2-3} . Однако напряжения \dot{U}_{1-2} и \dot{U}_{1-3} совпадают по фазе, а напряжения \dot{U}_{2-2} и \dot{U}_{2-3} находятся в противофазе. Поэтому, как видно из векторных диаграмм (рис. 2, *a*), напряжения \dot{U}_{ab} и \dot{U}_{cd} равны по величине, и, следовательно, сигнал рассогласования $\Delta U = 0$.

В случае реактивного характера нагрузки, когда ток, протекающий через нагрузку, отстает от фазового напряжения или опережает его на некоторый угол φ , то есть при $\cos \varphi \neq 1$ фазовый сдвиг между напряжениями во вторичных обмотках трансформаторов Тр. 1 и Тр. 2 отличается от 90° и напряжения \dot{U}_{ab} и \dot{U}_{cd} не равны по величине (рис. 2, *б, в*). В результате этого сигнал рассогласования $\Delta U \neq 0$, а его полярность определяется характером нагрузки, то есть направлением реактивной мощности.

Для проведения анализа схемы рассмотрим векторные диаграммы при индуктивном характере нагрузки сети, согласно которым можно записать.

$$\dot{U}_{1-2} = \dot{U}_{1-3} U_1 e^{j\varphi}; \quad (4)$$

$$U_{2-3} = U_2 e^{j\frac{\pi}{2}}; \quad (5)$$

$$U_{2-3} = U_2 e^{-j\frac{\pi}{2}}, \quad (6)$$

где U_1 — модуль комплексных напряжений \dot{U}_{1-2} и \dot{U}_{1-3} ;

U_2 — модуль комплексных напряжений \dot{U}_{2-2} и \dot{U}_{2-3} .

Подставляя выражения \dot{U}_{1-2} , \dot{U}_{2-2} и \dot{U}_{2-3} из равенств (4) — (6) в уравнения (2) и (3), получим

$$\dot{U}_{ab} = U_1 e^{j\varphi} + U_2 e^{j\frac{\pi}{2}} = U_1 \cos \varphi + j U_1 \sin \varphi + j U_2 = U_1 \cos \varphi + j(U_1 \sin \varphi + U_2);$$

$$\dot{U}_{cd} = U_1 e^{j\varphi} + U_2 e^{-j\frac{\pi}{2}} = U_1 \cos \varphi + j U_1 \sin \varphi - j U_2 = U_1 \cos \varphi + j(U_1 \sin \varphi - U_2),$$

отсюда

$$U_{ab} = \sqrt{(U_1 \cos \varphi)^2 + (U_1 \sin \varphi + U_2)^2} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2U_1 U_2 \sin \varphi};$$

$$U_{cd} = \sqrt{(U_1 \cos \varphi)^2 + (U_1 \sin \varphi - U_2)^2} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1 U_2 \sin \varphi}.$$

Исходя из вышесказанного, составим уравнение, описывающее сигнал рассогласования

$$\Delta U = \left(U_{ab} \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_{cd} \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) \cdot 0,9.$$

Поскольку $R_2 = R_3 = R$, то

$$\Delta U = U_{ab} \frac{0,9R}{R_1 + R} - U_{cd} \frac{0,9R}{R_1 + R} = \frac{0,9R}{R_1 + R} (U_{ab} - U_{cd}) = \frac{0,9R}{R_1 + R} \times \\ \times (\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2U_1 U_2 \sin \varphi} - \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1 U_2 \sin \varphi}).$$

В том случае, когда выполняется условие $U_1 \gg U_2$, с достаточной достоверностью можно принять

$$U_1^2 + U_2^2 + 2U_1 U_2 \sin \varphi \approx (U_1 + U_2 \sin \varphi)^2;$$

$$U_1^2 + U_2^2 - 2U_1 U_2 \sin \varphi \approx (U_1 - U_2 \sin \varphi)^2.$$

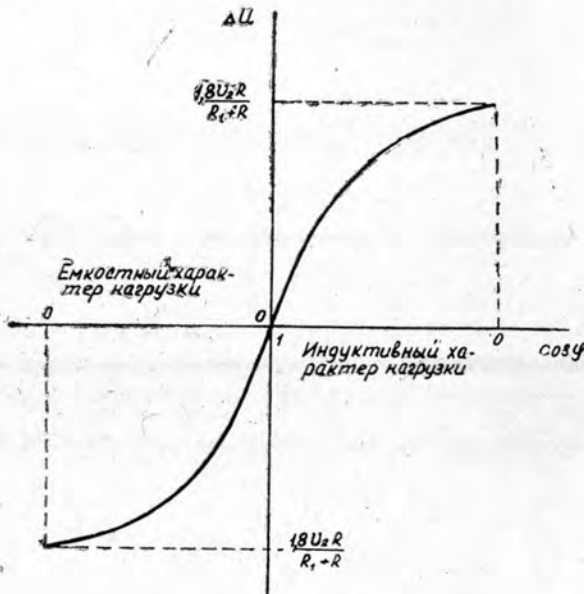


Рис. 3. График $\Delta U = f(\cos \varphi)$.

Следовательно,

$$\Delta U \approx \frac{1,8 U_2 R}{R_1 + R} \sin \varphi = \frac{1,8 U_2 R}{R_1 + R} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}. \quad (7)$$

При емкостном характере нагрузки сети анализировать схему нет смысла, так как ясно, что численный результат получится тот же, что и в уравнении (7), но с отрицательным знаком.

Из рис. 3 видно, что при $\frac{U_2 R}{R_1 + R} = \text{const}$ в случае изменения $\cos \varphi$ от 1 до 0 величина ΔU меняется от 0 до $\pm \left(\frac{1,8 U_2 R}{R_1 + R} \right)$. При этом полярность сигнала рассогласования определяется характером нагрузки.

Как показали расчеты и исследования схемы, уравнение (7) справедливо в том случае, когда соблюдается условие $\frac{U_1}{U_2} \geq 3$. При соблюдении этого условия ΔU не зависит от величины тока, протекающего через первичную обмотку трансформатора Тр. I, в результате чего предлагаемую схему можно использовать для измерения коэффициента мощности в сетях, где нагрузка меняется в широких пределах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. Изд-во «Высшая школа», М., 1964. [2]. Б. А. Константинов и др. Сборник информационных материалов по коэффициенту мощности ($\cos \varphi$). Госэнергоиздат, М.—Л., 1959.

НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ — СЕЛЬСКОМУ ХОЗЯЙСТВУ

С 30 октября по 1 ноября 1973 г. в Риге в Институте химии древесины АН Латвийской ССР проводилась Всесоюзная конференция на тему: «Использование продуктов переработки древесины в сельском хозяйстве». Конференция была организована Отделением общей и технической химии АН СССР, Всесоюзной академией сельскохозяйственных наук, Министерствами лесного хозяйства, лесной промышленности и сельского хозяйства Латвийской ССР, а также Латвийской сельскохозяйственной академией и Институтом химии древесины АН Латвийской ССР. В конференции принимали участие сотрудники научно-исследовательских и проектных институтов и опытных станций лесного хозяйства и лесной промышленности, деревообработки и химии древесины, лесотехнических институтов Министерства высшего и среднего специального образования СССР, а также сотрудники НИИ и промышленных предприятий сельского хозяйства, инженерно-технические работники комбикормовых заводов и др.

Большую работу по подготовке конференции провел оргкомитет (председатель — академик АН Латвийской ССР А. Я. Калинин). Доклады по обсуждаемым проблемам были заранее изданы в трех томах (т. I — «Получение и использование витаминной муки и кормовых дрожжей», 32 доклада; т. II — «Использование полисахаридов и лигнина», 28 докладов; т. III — «Защита древесины и новые древесные материалы в сельском хозяйстве», 31 доклад) и разосланы авторам и всем заинтересованным организациям. Поэтому на конференции эти доклады не заслушивались.

На пленарном заседании с обобщающими докладами выступили: акад. А. Р. Вальдман «Древесная зелень — источник биологически активных веществ в животноводстве» (Институт биологии АН Латвийской ССР); акад. К. К. Бамберг «Удобрения для сельскохозяйственных культур на основе продуктов переработки древесины» (Латвийская сельскохозяйственная академия); проф. В. И. Шарков «Производство кормовых продуктов на предприятиях гидролизной промышленности» (Ленинградская лесотехническая академия) и докт. техн. наук С. Н. Горшин «Новые положения в области защиты древесины» (ЦНИИМОД).

На конференции работали две секции: «Получение и использование витаминной муки, кормовых дрожжей, полисахаридов и лигнина» (председатели — проф. В. И. Шарков и чл.-корр. ВАСХНИЛ А. Д. Букштынов) и «Защита древесины и новые древесные материалы в сельском хозяйстве» (председатели — акад. А. Я. Калинин и докт. техн. наук С. Н. Горшин).

Выступившие с дополнениями к докладам указывали на то, что создание прочной кормовой базы животноводства с полноценными кормами — важнейшая задача для повышения объема производства сельскохозяйственной продукции. Большая роль отводится лесному хозяйству и лесной промышленности. Из лесных отходов можно в больших масштабах получать полноценные корма (для сельскохозяйственных животных и птицы), обогащенные углеводами, белками, витаминами, микроэлементами и др. Следует расширять производство витаминной муки из древесной зелени на предприятиях Министерства лесной и деревообрабатывающей промышленности СССР, а также в лесхозах Министерства лесного хозяйства на базе усовершенствованной технологии заготовки древесной зелени с комплексной механизацией сбора, разделки и транспортировки ее к заводам.

Выступившие на конференции отметили, что большую помощь сельскому хозяйству оказывает микробиологическая промышленность, вырабатывая кормовые дрожжи, ферментные препараты и др. Методом гидролиза целлюлозосодержащего сырья, главным образом древесины, получают удобрения и корма для сельского хозяйства. Негидролизующиеся остатки от гидролиза как древесины, так и малоразложившегося торфа, успешно используются в виде добавок к минерально-органическим гранулированным удобрениям длительного действия в качестве стимуляторов роста сельскохозяйственных культур при одновременной экономии азотистых удобрений (до 20%). Из гидролизного лигнина можно получать полезные продукты для сельского хозяйства: аммонийные соли хиноновых нитрополикарбонатовых кислот, окисленные лигнины, лигниновую смолу и др. Значительный экономический эффект можно получить при консервации строительных древесных материалов химикатами.

На заключительном пленарном заседании принято развернутое решение, которое рекомендует всем организациям расширять научно-исследовательские и опытные работы, имеющие значение для увеличения продуктивности животноводства и повышения урожайности полей.

Ф. А. Медников.

Ленинградская лесотехническая академия.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 655.552

* КНИГА О ТОПОЛЯХ И ИВАХ В БОЛГАРИИ*

Министерство лесов и охраны природной среды Народной Республики Болгарии подготовило и опубликовало интересную книгу о проблемах тополевого и ивового хозяйства.

Книга предназначена для всех специалистов, занимающихся созданием и выращиванием тополевых и ивовых насаждений, и содержит 15 статей и 7 приложений. В статьях затронуты все вопросы хозяйства на тополя и ивы (его описание, систематика пород, выбор районов и почв, продуктивность насаждений, выращивание саженцев, посадка, охрана и защита насаждений, ведение хозяйства с применением системы машин, использование древесины, экономи-

ческие вопросы и дальнейшие перспективы этого хозяйства в Болгарии).

В приложениях приведены климатические данные для районов выращивания тополей, районирование их сортов, технологические карты и другие сведения для правильной постановки хозяйства на тополь, в особенности рассчитанного на производство крупной древесины.

Книга написана на основании больших обследовательских и исследовательских работ, выполненных работниками Института лесов, Высшего лесотехнического института, Опытной станции по быстрорастущим лесным древесным видам и Министерства лесов и охраны природной среды. Книга заслуживает внимания специалистов и хозяйств, занимающихся выращиванием тополевых и ивовых насаждений с целью производства древесины.

П. И. Войчал.

Архангельск.

ЦЕННЫЙ ТРУД
О ЛЕСОСЫРЬЕВЫХ РЕСУРСАХ УКРАИНСКОЙ ССР*

В Директивах XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР перед лесным хозяйством поставлена задача поднять техническую оснащенность и уровень механизации, более полно использовать лесные ресурсы и земли государственного лесного фонда, повысить продуктивность и качественный состав лесов. Выполнение этих задач — основная линия развития лесного хозяйства и в последующие годы. В этой связи монография С. А. Генсирука и В. С. Бондаря представляет большой теоретический и практический интерес. Этот фундаментальный труд базируется на многолетних исследованиях авторов, а также многочисленных литературных, архивных, статистических и картографических материалах.

Вопросы рационального использования лесных ресурсов в условиях Украинской ССР особенно актуальны, так как ле-

систость республики невысока, леса размещены неравномерно. Авторы уделяют большое внимание анализу современного состояния лесов, их продуктивности, биологической устойчивости и лесовосстановительных процессов. При этом широко используются исторические материалы. Правда, богатый иллюстративный материал (карты, схемы), относящийся к октябрьскому периоду не всегда должным образом комментируется.

При рассмотрении современного состояния лесных ресурсов УССР авторы книги много внимания уделяют характеристике лесного фонда и дают научно-обоснованные рекомендации по оптимальной структуре лесов республики, что имеет большое значение для повышения продуктивности лесов и улучшения их качественной характеристики.

В системе социалистического планирования громадное значение имеет прогнозирование развития лесного хозяйства. На основе большого экспериментального материала дана новая методика расчета размеров главного и промежуточного пользования при различных формах ведения хозяйства, специальных для лесов Украины. При обос-

* С. А. Генсирук, В. С. Бондарь. Лесные ресурсы Украины, их охрана и использование. Изд-во «Наукова думка», Киев, 1973.

новании этих методических разработок широко используется корреляционный и регрессивный анализ.

В книге найдено отражение и научно обоснованная система организации ведения лесного хозяйства с учетом зональных особенностей, вызванных различиями в природных и экономических условиях отдельных зон республики. В частности, рубки главного пользования рассматриваются применительно к равнинным лесам (Полесье и Лесостепь) и лесам горных зон (Карпаты). На наш взгляд, некоторые предложения авторов по повышению интенсивности промежуточного пользования требуют более аргументированного обоснования.

В гослесфонде республики искусственные насаждения занимают одну треть всех лесов. Отсюда вопросы лесокультурного дела имеют для лесоводов Украины большое практическое значение.

Рекомендации авторов окажут значительную помощь специалистам лесохозяйственных предприятий в дальнейшем улучшении лесокультурных работ.

Нельзя не оценить положительно и попытку авторов осветить вопросы охраны природы в республике. В монографии они излагаются в самом широком понимании и включают не только разработку эффективных способов защиты лесов, но и охрану и уход за ландшафтами как природными динамичными комплексами. В свете последних решений партии и правительства по охране окружающей среды этот раздел книги представляет несомненный интерес, хотя он изложен в краткой форме.

В целом монография С. А. Генсирюка и В. С. Бондаря является ценным пособием для специалистов лесного хозяйства, научных работников и студентов вузов.

А. С. Паламарчук, В. Д. Арещенко.
Гомельский государственный университет.

В. П. Тарасенко.
БелНИИЛХ.

К СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ СМЕРТИ проф. Н. М. ЗОБОВА

Лесничий, преподаватель, профессор — таковы этапы трудового пути Николая Матвеевича Зобова, сто лет со дня смерти которого исполнилось в 1973 году. Он родился 21 ноября 1822 г. в Петербурге в семье небогатого чиновника. В 1843 г. окончил Петербургский лесной институт. В течение года работал по устройству Лисинского лесничества. Затем 14 лет заведовал лесничеством Казанской губернии. Здесь он увлекся и усиленно занимался ботаникой.

В 1858 г. Н. М. Зобов переехал в Петербург на должность ученого лесничего Лесного департамента. Около года Николай Матвеевич редактировал «Газету лесоводства и охоты». В 1860 г. он вернулся в Лисинское лесничество, где преподавал в лесном училище ботанику и естественную историю. К этому времени его преподавательской работы относится издание «Начальных оснований ботаники» (1864 г.) — учебника для лесных училищ и «Бесед о природе» (1868 г.) — популярной книги для народного чтения, которая выдержала 19 изданий. Автор обладал ясным и выразительным слогом, умел популярно излагать основы науки.

В 1869 г. Н. М. Зобов был назначен ординарным профессором кафедры лесной таксации и лесной технологии Петербургского земледельческого (ранее лесного) института. Этот период его профессорской деятельности длился всего пять лет. С большим рвением он принялся за разработку курса «Лесной таксации и лесоустройства», который вышел из печати в год его смерти (ч. 1, «Лесная таксация», СПб, 1873 г. и ч. 2, «Лесоустройство», СПб, 1874 г.). Отмечая бедность отечественной лесоводственной литературы, автор стремился к тому, чтобы облегчить изучение студентами лесного отделения Петербургского земледельческого института этих специальных наук и дать русским лесничим нужное справочное пособие.

Хотя при составлении курса Николай Матвеевич использовал главным образом немецкие источники и справочники, при изложении он руководствовался потребностями русского лесоводства. Эта типичная для автора черта была выражена им в 1871 г. в таких словах: «Мы не можем воспользоваться опытами Германии уже потому, что разница в климате, в характере местности вызывает существенные различия в законах роста лесных деревьев, не говоря уже о тех различиях, которые лежат в экономических отношениях, не говоря уже о том, что великий народ обязан самостоятельно разрабатывать науку, а не питаться крупницами, падающими с роскошного ствола своих соседей» («Лесной журнал», вып. 1, 1871). В этом высказывании виден прогрессивный подход ученого к развитию отечественного лесоводства.

Н. М. Зобов был одним из активных учредителей Лесного общества в 1871 г.

А. И. Котов.

Украинская сельскохозяйственная академия.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

В. П. Дадыкин, Н. В. Кононенко. Об использовании лучистой энергии сеянцами ели обыкновенной и пузыреплодника калинолистного	3
О. И. Полуболяринов, Г. Н. Некрасов. Влияние базальной обработки 2, 4, 5-Т на жизнеспособность parenхимных клеток древесины	7
А. Д. Лозовой. Товарная структура и возраст спелости смешанных кленово-липовых дубняков Тульских засек	11
И. К. Блинцов, В. А. Ипатьев. Подвижные формы азота в лесных осушенных торфяных почвах	16
С. Н. Свалов. Распределение стволов по ступеням площадей сечений при нормальном распределении стволов по диаметрам	20
В. С. Гречкин, И. И. Гуров. Кинематика рабочих органов наклонно-фрезерного геррасера	23
М. Е. Васильев. Установление оптимальных параметров конструкции лесных полос для равномерного отложения снега	27
Л. А. Казаков. Динамика появления всходов в посевах сосны на Крайнем Севере	33

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

Н. М. Белая, А. Г. Прохоренко. Исследование влияния поперечной нагрузки на выносливость несущих канатов подвесных лесотранспортных установок	37
В. В. Андронов. О вибрационном развале пакета бревен	41
В. И. Жабин, В. В. Щелкунов, Г. А. Калинин, В. П. Кузьмичев. О воздействии тепловоза ТУ-4 на путь при движении по случайным вертикальным неровностям	48
В. А. Успенский, Ю. В. Успенская. Способы определения среднего расстояния трелевки	55
А. В. Дуров. О расходе топлива узкоколейными тепловозами при «смешанной» работе	61
[Н. А. Пузаков,] Е. И. Шелопаев. Исследование двухмерных нестационарных задач водно-теплового режима автомобильных дорог	65

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

С. А. Воскресенский, Р. Ш. Бакиев. Гравитационный метод определения усилия вибрационного резания древесины	69
П. М. Мазуркин. Исследование продольного бесстружечного резания древесины зубчатыми дисками	74
Л. Ф. Степанова, Е. М. Боровиков. Рентгено- и металлографическое исследование природы износа твердосплавных зубьев рамных пил	78
Ю. И. Кондратьев. Влияние кондиционирующей обработки на внутренние остаточные напряжения в высушенных материалах	83
В. Е. Бабайлов, В. Н. Петри. К вопросу о сушке шпона в псевдооживленном слое инертного мелкозернистого материала	85
В. М. Заложных. Исследование эксплуатационных свойств подшипников из ДП при работе в водно-абразивной среде	89
В. И. Рогачев. Повышение надежности подшипников скольжения из древесно-пластмасс	92
О. И. Смирнова. Влияние некоторых поверхностно-активных веществ на впитывающую способность картона	95

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

М. Я. Зарубин, А. М. Кутневич. Механизм действия кислот на лигнин. Протонирование лигнина и его модельных соединений	99
Б. Д. Богомолов, Г. И. Попова, О. М. Соколов, Г. Г. Качергина. Об изменении молекулярного веса диоксанлигнина сосны при щелочных варках	104
Н. А. Иванов, Л. Г. Попова, В. Н. Пилякин, М. Н. Новикова, Ю. И. Черноусов. Газо-жидкостная хроматография оксикислот сульфатного шелока	108
А. В. Рачинский, Э. Д. Левин. Состав продуктов гидрокрекинга суммарного масла смолы пиролиза лигнина	111

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ю. И. Духон, Ю. Г. Павлов. К вопросу о выборе критерия оптимизации в задачах текущего планирования ОАСУ	114
Н. Ф. Ковалев, И. В. Турлай. Системы с групповым обслуживанием в лесозаготовительном производстве	119
В. Ф. Подосенов, А. Б. Израелит. К расчету модуля упругости продольно перемещаемых пиломатериалов	124
А. Н. Синяков, Л. Н. Селянинова, А. И. Юров. Исследование системы автоматического регулирования температуры перегретого пара сорогенерационных парогенераторов в условиях случайных возмущений	127

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

П. П. Пациора, Г. Н. Кольниченко, В. А. Букштынов. К вопросам электроэнергетики лесного хозяйства	131
В. М. Кожин, В. П. Стяжкин. Методика определения средней добротности лесопроductии по районам	135
Л. П. Ажар. Экономическая оценка производства химических продуктов на основе комплексной переработки гидролизного лигнина и коры лиственницы сибирской	138

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

Б. И. Подмаско. Возрастная структура насаждений лиственницы даурской Магаданской области	141
В. Ф. Багинский. Строение сосновых молодняков БССР	144
Э. С. Гусейнов. Некоторые болезни дуба в Азербайджане	147
В. Н. Больинский. Влияние величины относительного пролета на взаимосвязь между пределом прочности и модулем упругости древесины при изгибе	149
А. С. Сметанин, В. Ф. Щеглов. Расчет усилий в упаковке блок-пакетов пиломатериалов	151
З. И. Дячун. Исследование предельного радиуса изгиба шпона	156
А. М. Петровский. Графо-аналитическое выражение коэффициентов формы для расчетов кинетики сушки пиломатериалов	158
В. Д. Дунаев. К прочностному расчету режущей части инструмента	160
Е. М. Голубчик. Способ регенерации натрия из черного шелока целлюлозного производства	166
Н. Б. Потаповский, Б. В. Ковылов. Схема измерения коэффициента мощности	167

НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

Ф. А. Медников. Продукты переработки древесины — сельскому хозяйству	172
--	-----

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

А. И. Котов. К столетию со дня смерти профессора Н. М. Зобова	173
---	-----

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

П. И. Войчалъ. Книга о тополях и ивах в Болгарии	174
А. С. Паламарчук, В. Д. Арещенко, В. П. Тарасенко. Ценный труд о лесосырьевых ресурсах Украинской ССР	—

ПОРЯ

ЛИСТОК СРОКА ВОЗВРАТА
КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ
УКАЗАННОГО ЗДЕСЬ СРОКА

Колич. пред. вылач _____

Депонирование статей
ся по решению редакци
журнала. Статья направ
нирование с согласия е

Депонированные статьи
учными публикациями
при защите диссертаци
объеме.

Для депонирования с
цию должны быть пре
дующие материалы:

- а) рукопись статьи (3 экз.);
- б) краткий реферат, по
тором (2 экз.);
- в) аннотация, подписа
(2 экз.).

При оформлении стат
блюдать следующие пра

Статья представляется
журнала в мягкой папк
отработанная автором
немедленного размноже
безнаборной печати.

Текст рукописи печата
ке (не портативной) с
левой через полтора или
на одной стороне станд
бумаги формата 21×30 см односортовой
писчей.

Рукопись должна включать:

- а) титульный лист (4 первых экземп
пляра, один из них должен быть под
писан автором); б) основной текст;
- в) иллюстрации; г) приложения; д) библио
графию.

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 сере

выпол
давать
только

ваны в
обяза
тушью
четко
начены
также
формул
писные
ные —
ксы —

может
напи
напеча
ельных

фото
ок, ка
злений,
а букв
ами не
шибка,
ано и

Тип. им. Складина, 1971 г., зак. 8132

слово должно быть перенесено и
вклеено.

При оформлении реферата следует
руководствоваться правилами, приня
тыми для подготовки рукописей, изда
ваемых наборной печатью. Объем не
должен превышать 2 страниц машино
писного текста, в отдельных случаях
можно включать рисунок, таблицу, ос
новные формулы. Объем аннотации —
не более одной страницы, напечатанной
через два интервала. Аннотации должно
предшествовать библиографическое опи
сание материала статьи по следующему
образцу:

УДК (указать).

Некоторые вопросы развития тепло
вых электрических станций. Ива
нов И. И. «Изв. вузов — Энергетика»,
1972, №

В целях информации научных уч
реждений и отдельных лиц о поступив
ших на депонирование и размножение
рукописях по точным, естественным и
техническим наукам ВИНТИ выпускает
аннотированный каталог, в котором
сообщается номер, под которым хра
нится рукопись в ВИНТИ, фамилия
автора, название труда, наименование
учреждения, представившего труд, объ
ем и другие библиографические даные.

Заказы на изготовление копий с де
понированных рукописей по точным,
естественным и техническим наукам на
правляются в Отдел справочной инфор
мации ВИНТИ, Москва, А-219, Бал
тийская ул., 14.

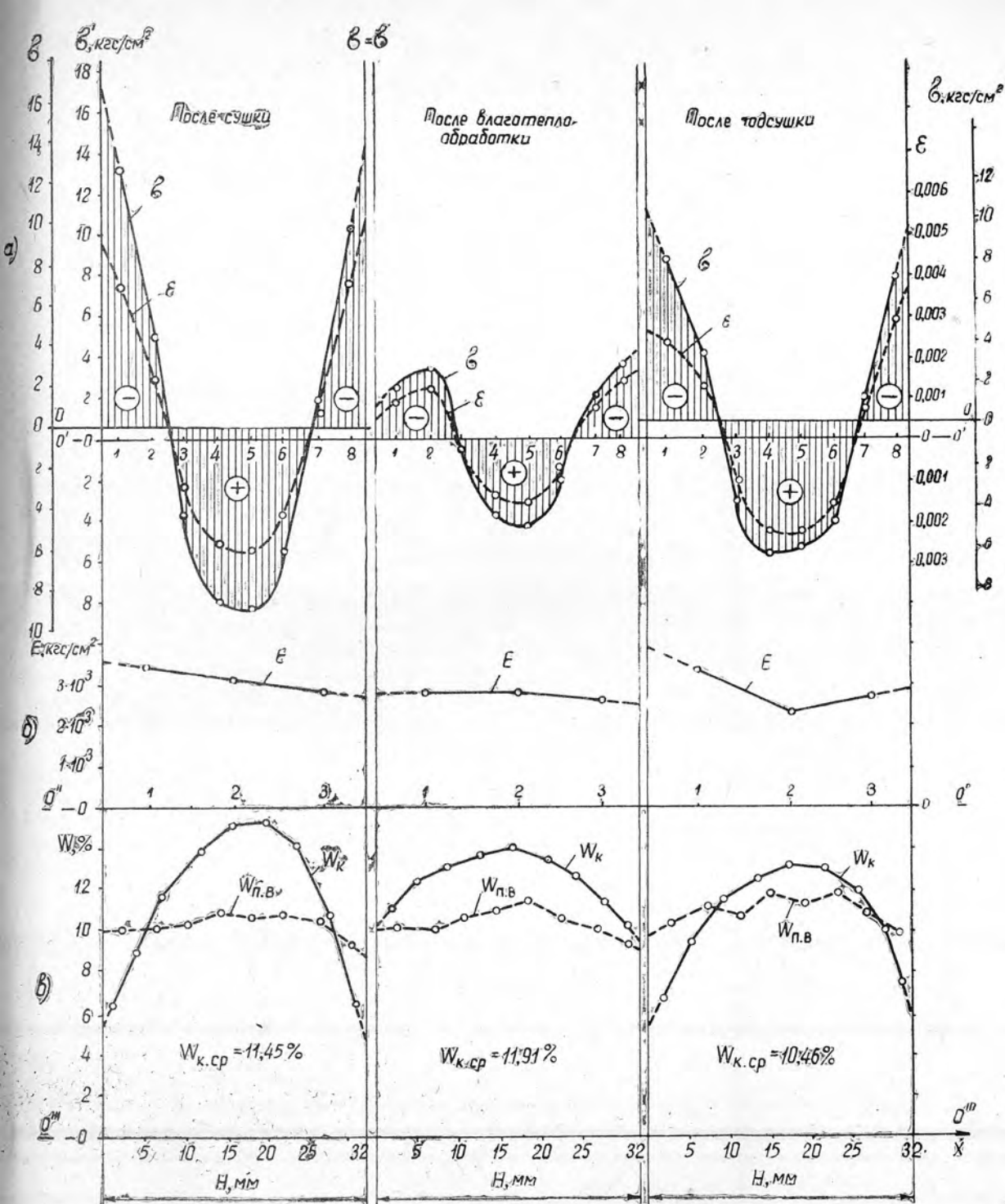


Рис. 1.

а — кривые напряжений σ и относительных деформаций ϵ ; б — кривые модуля упругости E ; в — кривые распределения конечной средней влажности $W_{к.ср}$ и после выравнивания $W_{п.в}$.

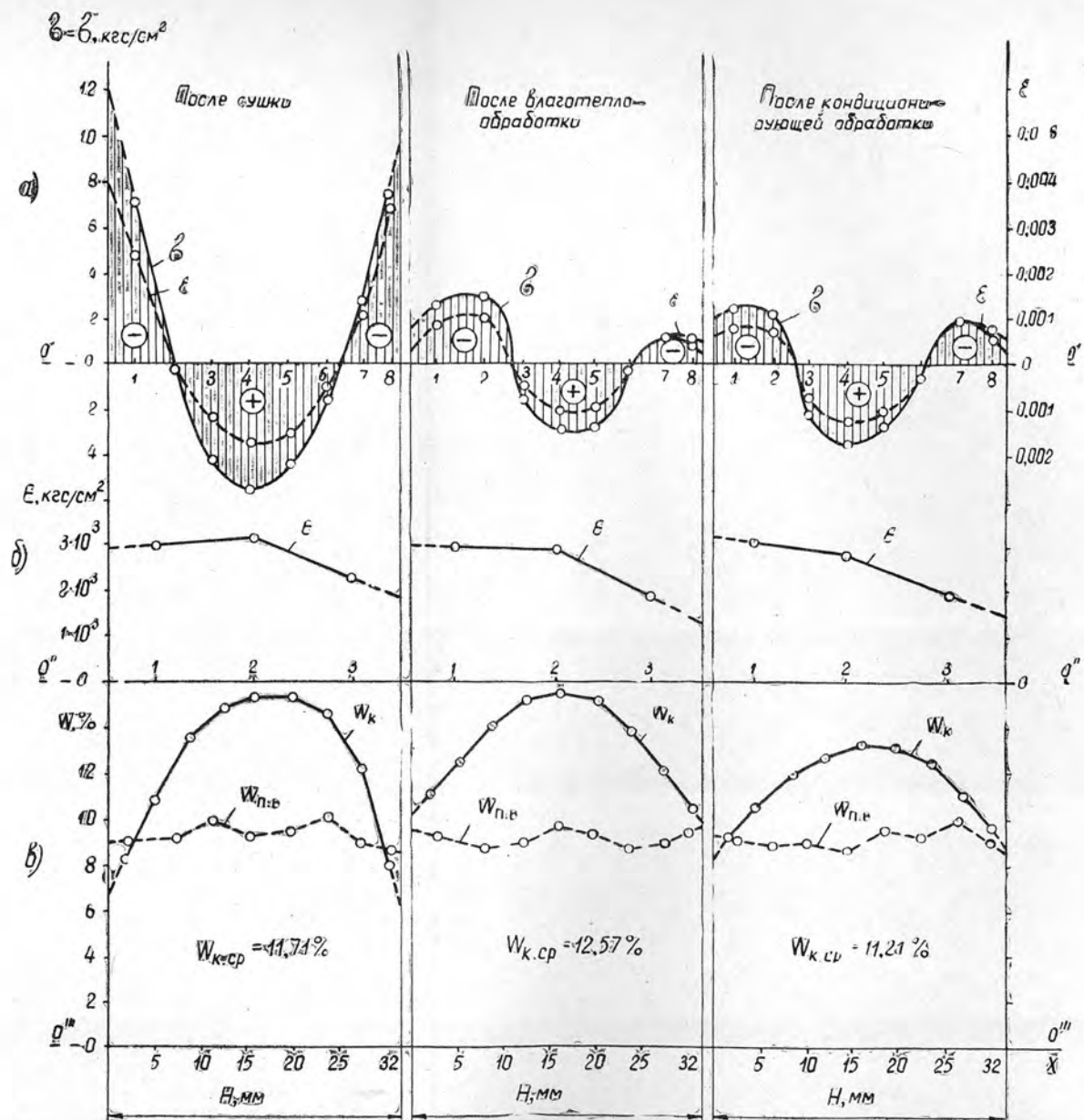


Рис. 2. Обозначения те же.

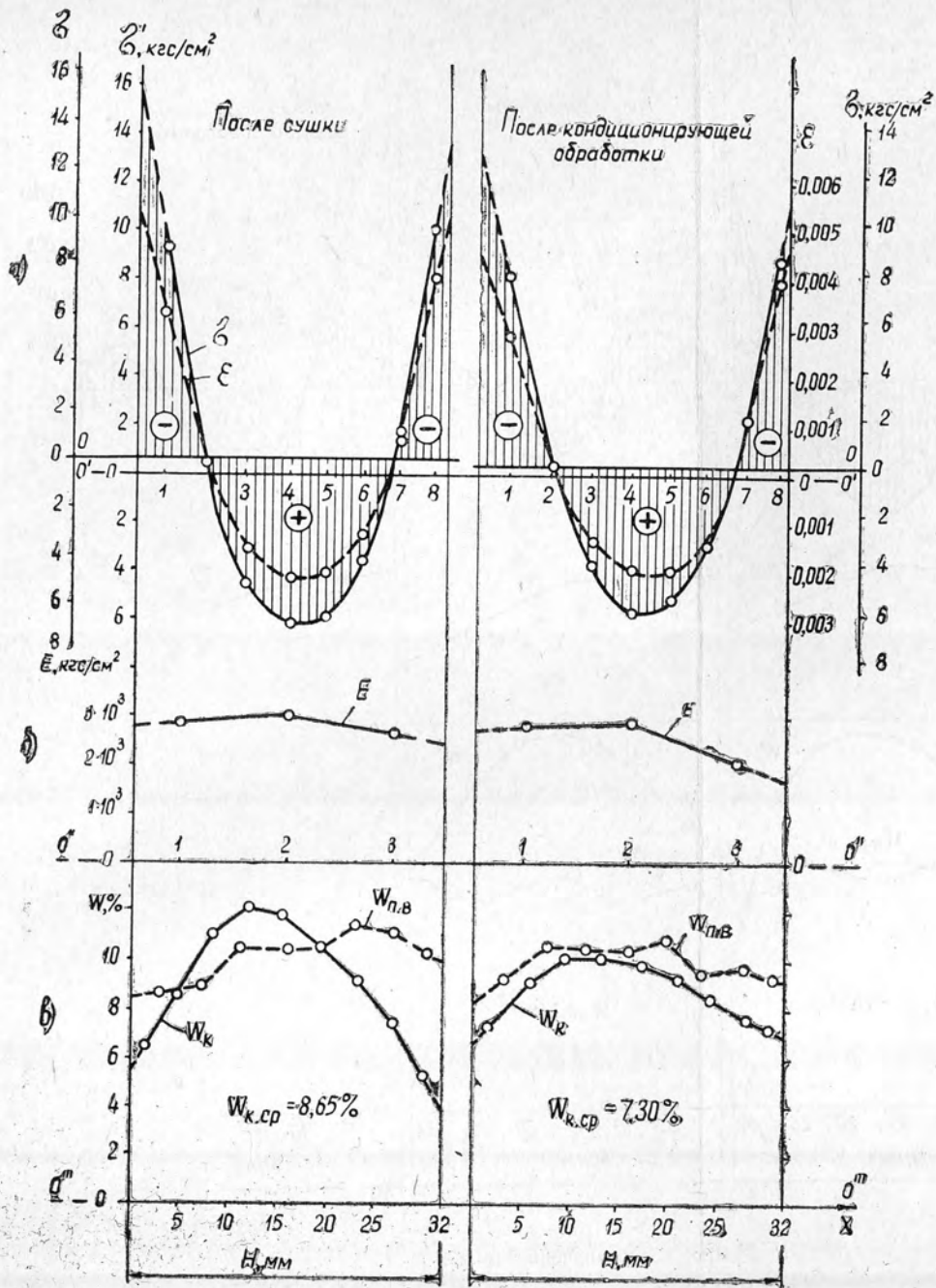


Рис. 3. Обозначения те же.

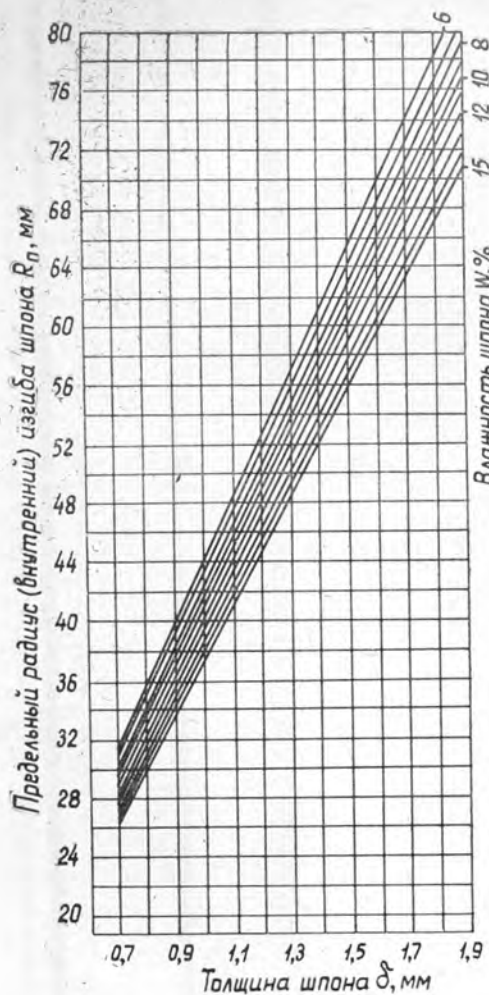


Рис. 1. Теоретическая зависимость предельного (внутреннего) радиуса изгиба шпона от толщины для березы различной влажности.

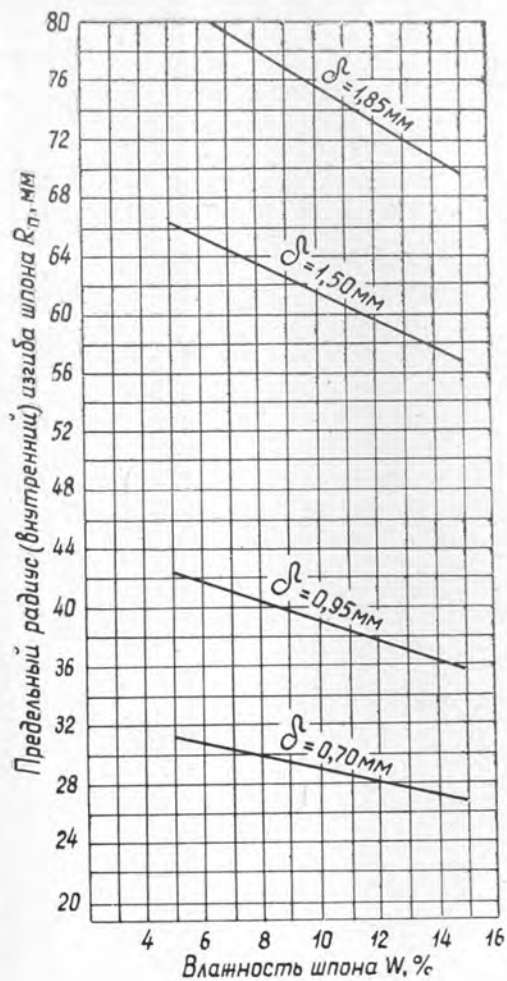


Рис. 2. Теоретическая зависимость предельного (внутреннего) радиуса изгиба шпона от влажности для различных его толщин.

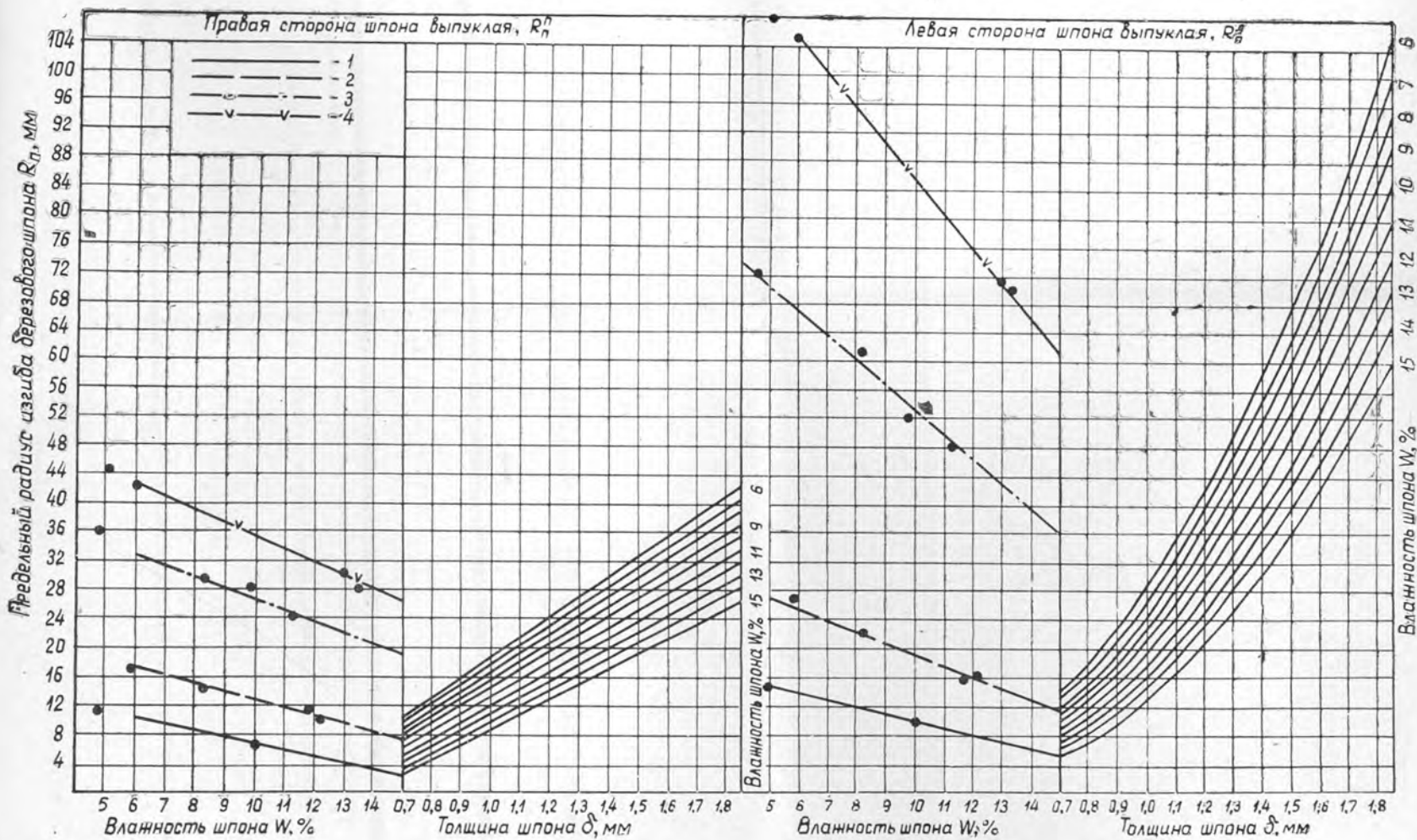


Рис. 3.

Цена 1 руб.

**Подписывайтесь
на журнал на 1974 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
ИЗБ2

ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ

1

1974