

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

---

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

*Лесной журнал*

ГОД ИЗДАНИЯ ШЕСТОЙ

4

1963

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

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Ответственный секретарь редакции А. И. Кольцова.

---

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

Выходит 6 раз в год.

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

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

## О ПОРАЖЕНИИ ДЕРЕВЬЕВ МОЛНИЕЙ

*В. И. АРАБАДЖИ*

Профессор, доктор физико-математических наук

*С. Г. ХОДАСЕВИЧ*

Студентка

(Белорусский технологический институт)

В некоторых местностях земного шара молния является главной причиной лесных пожаров [1]. Так, например, только за 1948—1952 гг. в Скалистых горах США произошло более 17 тысяч пожаров от разрядов молнии, что составляет 63% всех лесных пожаров в этом районе. Молния считается главной причиной лесных пожаров в десяти штатах США. В штате Аризона в отдельные годы они достигали 77%, в Северной Финляндии — 56%. Немало их наблюдается и в горных районах Канады. В СССР на территории Архангельской области и Коми АССР в результате грозовой деятельности возникает до 25% лесных пожаров, в ленточных борах Прииртышья — в среднем 70% (в общем по СССР менее 5%).

В поражении дерева молнией большое значение имеет электропроводность ствола и корневой системы, а также почвы, неглубокое залегание прунтовых вод и возвышение дерева над местностью. Согласно пока еще немногочисленным литературным данным, молния поражает сосну, ель, дуб, березу, осину, тополь, клен, бук, ясень, акацию, липу, черешню, карагач, гледичию. Такой небольшой список поражаемых пород объясняется скудостью материала и ограниченностью районов наблюдений. Для получения статистической картины поражений по породам в 1957—1961 гг. нами собраны сведения по 22 лесхозам и лесничествам Белоруссии и по 10 лесхозам Молдавии. Наибольшее количество поражений в лесах Белоруссии падает на сосну — 56%. На ель приходится 22, на дуб — 16, на остальные породы (березу, осину, ольху, ясень, тополь) — 6%. На территории Молдавии в основном (на 94%) поражается дуб, составляющий 64% общего количества деревьев. На остальные породы (ясень, акация, осина, липа) падает не более 6%.

П. Н. Чирвинский [3] приводит результаты одного из обследований смешанных лесов Англии и Германии. На 100 пораженных деревьев здесь приходилось 58 дубов, 21 ель, 8 буков и 7 сосен. В другом случае изучали лес, в котором было дуба 10, бука — 70, ели — 14 и сосны — 6%. Дуб был поражен 159, сосна 59, бук 21 и ель 20 раз. Эти результаты нельзя, однако, считать типичными для других местностей.

Под влиянием высокой температуры молнии вещество дерева на пути разряда быстро превращается в пар и газ, что является причиной дробления древесины. При этом щепа может разлетаться на расстояние

до 75 шагов от пораженных деревьев. Она нередко размочалена. Характер поражения дерева зависит и от состояния его поверхности: после дождя дробление обычно менее значительно, чем до него. Процесс поражения дерева молнией имеет общие черты с явлением взрыва.

Основным видом поражения деревьев молнией в лесах Белоруссии является раздробление (56%). Довольно часто наблюдается и срезание вершины (32%). Обугливание отмечено в 5% случаев, возгорание — в 2%. Случаи возгорания наблюдались на территории Калининковского лесхоза (20 раз), Новогрудского — 4, Лидского — 1. Отщепление коры полосой от вершины до комля зарегистрировано в 5% случаев. В лесах Молдавии деревья в основном подвергаются полосообразному поражению — 64%. Раздробление составляет 28%, обугливание и возгорание — 8% (Оргеевский и Единецкий лесхозы).

Следует отметить, что нельзя установить резкой грани между раздроблением дерева и полосообразным, от вершины до комля, отщеплением коры. Последнее чаще всего наблюдается в Белоруссии у сосны, но встречается также у ели и дуба. При этом вблизи вершины дерева след молнии обычно имеет вид прерывистых, тонких и неглубоких царапин, шириной до 3 см, около корневой шейки полоса отщепления коры имеет ширину 5—15 см и глубину 5—8 см. Иногда прерывистые и глубокие царапины с отщеплением коры встречаются и в нижней части дерева. Полосообразное поражение позволяет установить, с какой стороны направлялся на дерево разряд молнии. Так как грозы в Белоруссии преимущественно движутся с запада на восток, то полосообразное отщепление коры с восточной стороны наблюдается редко.

Иногда у сосны и у дуба отщепление коры от вершины до комля происходит вокруг ствола по винтовой линии. По длине дерева может уместиться несколько витков. Древесиноведы утверждают, что причиной этого явления может быть косослой.

Несмотря на преимущественную распространенность ели на севере Белоруссии, молния и здесь чаще поражает сосну. Вместе с тем, в Минском и Лидском лесхозах, в Свитезянском лесничестве Новогрудского лесхоза, Порозовском лесничестве Волковыского лесхоза и Ильянском лесничестве Вилейского лесхоза ель страдает чаще, чем сосна (все эти места расположены в районе Минска, а также на запад и северо-запад от него). В южной части Белоруссии сосна, в связи с большой ее распространенностью, поражается значительно чаще ели. В среднем по Белоруссии больше всего поражается сосна (40—65%), затем ель (20—40%) и дуб (5—15%).

После поражения дерева, если они не подверглись полному раздроблению, замедляют рост и развитие, начинают болеть и, как правило, усыхают, превращаясь в конечном итоге в сухостой и валежник.

Для ориентировочной оценки электропроводности корневой системы деревьев нами было измерено сопротивление заземления сосен и елей. С этой целью измерительный электрод омметра с помощью металлического острого соединяли с наиболее электропроводным (камбиальным) слоем дерева на уровне корневой шейки. Для устранения влияния на измерения посторонних токов второй электрод прибора соединяли проводником с погруженным в землю металлическим стержнем длиной 90 см, удаленным от дерева на расстояние 10 м. У каждого дерева измерения производили по нескольку раз с различных сторон. Места подключения тока находились на одном и том же уровне — у корневой шейки. Все результаты измерений были устойчивыми и воспроизводимыми. Объектами измерений были крупномерные деревья высотой от 15 до 25 м и диаметром у корневой шейки 50—60 см. Всего обследовано 70 сосен и 39 елей.

Измерения проводили в октябре 1961 г. и в мае 1962 г. в Минской области. Осенью 1961 г. среднее сопротивление заземления у сосны составляло 40 ком (крайние значения 22,5 и 55 ком); весной 1962 г., в связи с довольно значительным увлажнением почвы, оно упало до 12 ком (крайние значения 6 и 30 ком). Для елей эти величины составляли соответственно 22,5 ком (колебания от 20 до 40) и 10,5 ком (колебания от 5 до 22 ком). Несмотря на различие в характере корневой системы (у сосны стержневая, у ели мочковатая), сопротивления оказались близкими, хотя в зависимости от местоположения и мощности корневой системы они несколько менялись. Однако у сосны чаще наблюдались более высокие сопротивления, в отдельных же случаях области изменения сопротивлений сосны и ели перекрывались.

Причина преимущественного поражения сосны состоит в том, что у крупномерных экземпляров этих деревьев крона расположена на значительной высоте, а у ели ветвление начинается вблизи земной поверхности. Как показали специальные измерения, электрическое сопротивление ствола (независимо от породы) увеличивается с уменьшением его толщины. Характер развития кроны ели обуславливает резкое уменьшение сечения ствола по его высоте. Это приводит к быстрому нарастанию с высотой сопротивления электрическому току. В результате сосна в среднем имеет большую электропроводность, чем ель. Однако бывают исключения из этого правила. Величины сопротивления заземления дерева и стены кирпичного дома совпадают и примерно в тысячу раз больше, чем у стержневого молниеотвода.

С. Н. Успенский [2] описывает действие стержневых молниеотводов, установленных на деревьях в ленточных борах Прииртышья. Молниеотводы на деревьях имеют высоту до 20 м, возвышение острия над кроной около 1 м. В качестве токоотводов при этом используют медные или алюминиевые проводники диаметром до 4 мм. Один такой молниеотвод защищает от поражения площадь 1256 м<sup>2</sup>. Для надежной защиты леса потребовалось бы не менее 10 молниеотводов на 1 га, однако это было бы экономически невыгодно ввиду высокой стоимости их установки. На практике в самых благоприятных случаях ставят не более 2—3 шт. на 1 га. Поэтому большинство прозовых разрядов происходит в незащищенные деревья, которые иногда находятся в непосредственной близости к местам установки молниеотводов. Это говорит о том, что в целом деревья достаточно эффективно отводят в землю электричество и могут составлять некоторую конкуренцию молниеотводам. И хотя стержневые молниеотводы имеют значительно меньшее по сравнению с деревьями сопротивление заземления, они, по-видимому, не обеспечивают растекания попавшего в них заряда по большому объему в такой мере, в какой это осуществляется корневой системой. В этом мы видим объяснение того факта, что молния не всегда бьет в установленные на деревьях молниеотводы и часто поражает деревья, находящиеся неподалеку и даже в непосредственной близости к ним.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. С. П. Анцышкин. Противопожарная охрана леса. Гослесбумиздат, 1957.  
[2]. С. Н. Успенский. Загорание леса от молний и меры предупреждения пожаров в ленточных борах Прииртышья. Труды Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства, т. 2, 1959, стр. 245—264. [3]. П. Н. Чирвинский. Деревья и молнии. Журн. «Природа» № 10, 1950, стр. 28—33.

**О ВЛИЯНИИ ВЫЖИМАНИЯ ВСХОДОВ И СЕЯНЦЕВ МОРОЗОМ НА ИХ ПРИЖИВАЕМОСТЬ\***

**П. Ф. СОВЕРШАЕВ**

Ассистент

(Архангельский лесотехнический институт)

Вопрос о причинах низкой приживаемости лесных культур в условиях Севера изучен недостаточно. Однако из работ С. В. Алексеева [1], Н. Е. Декатова [2] и наших [6], [7] известно, что одной из основных причин гибели всходов является выжимание их корней морозом.

Для изучения этого вопроса в учебно-опытном лесхозе АЛТИ нами были проведены опытные посевы и посадки хвойных пород на двух участках (№ 1 с супесчаной почвой, № 2 со среднесуглинистой). Выжатые всходы учитывали весной и осенью каждого года по шкале интенсивности выжимания, разработанной Ф. Б. Орловым [5]. Выяснив количественную и качественную стороны выжимания после первой перезимовки, мы проводили наблюдения за дальнейшей судьбой культур на стационарных площадках (по 50 в каждом варианте посева или посадки). Отпад определяли путем сравнения весенних и осенних учетов отдельно для каждой степени выжимания. Результаты наших исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Порода и способ обработки почвы	Отпад (%) по степеням выжимания						Отпад в центре площадок, %	Отпад по краям площадок, %
	0	1	2	3	4	итого		
1959 г. (участок № 2)								
Сосна на рыхлых площадках	1,3	34,5	66,7	95,3	100	33,7	66,2	26,9
Сосна на нерыхлых площадках	3,8	30,3	69,7	100	100	22,5	53,2	16,7
Ель на рыхлых площадках	9,5	43,2	56,9	63,7	100	53,0	59,2	51,6
Ель на нерыхлых площадках	5,1	27,5	65,5	96,8	100	28,6	57,5	8,2
1960 г. (участок № 1)								
Сосна на рыхлых площадках	5,0	15,4	17,8	73,8	100	32,6	48,0	16,0
Сосна на нерыхлых площадках	3,3	15,4	36,3	66,7	100	18,5	50,0	11,0
Ель на рыхлых площадках	—	—	37,5	71,0	100	38,9	64,8	25,7
Ель на нерыхлых площадках	1,5	25,0	31,8	56,2	100	15,7	65,8	5,4

\* Работа выполнена под руководством доц. Ф. Б. Орлова.

Из таблицы видно, что отпад всходов увеличивается вместе с повышением интенсивности выжимания. Наибольший отпад наблюдается в центре площадок.

Из табл. 1 следует, что отпад выжатых всходов зависит от рыхления почвы. Приживаемость всходов на рыхленных площадках за эти годы была ниже, чем на нерыхленных. Это обстоятельство объясняется тем, что на рыхленных почвах всходы сильнее выжимаются морозом.

Для более полной характеристики отпада сеянцев в последующие три года жизни приводим (табл. 2) данные осенних учетов посевов сосны 1958 г. с указанием числа оставшихся сеянцев на 1 га.

Таблица 2

Год учета	Число сеянцев на 1 га, расположенных в центре площадок	Число сеянцев, расположенных по краям площадок	Общее число сеянцев на 1 га, шт.
Посев сосны в рыхленные площадки			
1958	13750	80000	93750
1959	5500	62250	67750
1960	4250	36750	41000
1961	3750	30000	33750
Посев сосны в нерыхленные площадки			
1958	12000	65000	77000
1959	5625	54125	59750
1960	3750	37000	40750
1961	3250	33250	36500

Из табл. 2 видно, что к концу четвертого года у сосны на рыхленной почве сохранилось 35,9% всходов, а на нерыхленной 47,4%. Основная масса оставшихся сеянцев располагается по краям площадок.

Приживаемость посадок значительно выше. После первой перезимовки она составляла 90—95%, после третьей у сосны — 86,8, у ели — 78,2%.

Хвоя погибших всходов имеет желтую и желто-бурую окраску. Для выяснения причин гибели всходов мы применили индикаторный метод, разработанный И. И. Журавлевым [3]. Анализ проводили по каждой степени выжимания (за исключением полностью выжатых) на одно-, двух- и трехлетних культурах сосны.

Анализ показал, что основной причиной гибели однолетних и двухлетних культур является усыхание при обнажении и повреждении корневой системы. Заболевание шютте (*Lophodermium pinastri* Chev.) обнаружено нами только на трехлетних сосенках, выжатых в первый год жизни.

Осенью 1961 г. был сделан повторный анализ на культурах сосны в возрасте 1, 2 и 3 лет, который вновь показал, что причиной отмирания всходов является их усыхание.

Заболевание шютте было обнаружено также только у трехлеток, подвергшихся выжиманию в первые годы жизни.

Наблюдения показали, что часть выжатых всходов при благоприятных условиях не погибает. Особенно большое влияние на их приживаемость оказывает живой напочвенный покров, появляющийся на площадках и произрастающий вокруг посевных мест.

На площадках, затененных травянистой растительностью (особенно вейником или кипреем), могут сохраняться все подвергшиеся выжиманию всходы.

При обследовании осенью 1959 г. на участке № 2 у посевов ели 1958 г. на стационарных площадках № 8, 11, 13 и 23, окруженных почти сплошным кольцом вейника, сохранились все всходы, даже сильно выжатые. На участке № 1 у посевов сосны 1959 г. (обследование осенью 1960 г.) на площадках № 3, 10, 15, 21, 28, окруженных травостоем из кипрея, наблюдалась та же картина.

В свое время А. П. Тольский [8] указывал на положительную роль травы, которая защищает посадки от солнечных ожогов и является некоторым подгоном.

Г. Ф. Морозов [4] считал, что иссушающая роль живого покрова в северных лесных областях может оказывать влияние на посевы леса только на очень сухих почвах. Поэтому мы считаем, что проведение прополок в первые два года жизни культур на Севере на вырубках, вышедших из-под брусничников и черничников, нецелесообразно, а окашивание травы вокруг посевных мест необходимо проводить в конце лета.

Наблюдения за дальнейшим ростом и развитием всходов показали, что подвергшиеся выжиманию, но сохранившие жизнедеятельность всходы резко сокращают прирост по высоте и продолжают усыхать на втором и в последующие годы жизни.

Текущий прирост по высоте за 1959 г. у 4-летних сеянцев ели, подвергшихся выжиманию (на участке №1), составлял 11 мм и был почти в 4 раза меньше, чем у невыжатых (43 мм).

Безусловно также, что ослабленные выжиманием растения менее устойчивы против грибных заболеваний, которые оказывают большое влияние на отпад в последующие годы жизни.

На ослабление роста молодых культур в возрасте от 2 до 5 лет влияет также нарушение их микотрофного питания. Нам приходилось наблюдать у некоторых всходов сбросы микоризы кристаллами льда, окружающими корень растения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] С. В. Алексеев. К проблеме лесных культур в условиях Севера. Сб. «Некоторые вопросы ведения лесного хозяйства на Севере», Архангельск, 1953, стр. 53—61.  
 [2] Н. Е. Декатов. Температурные колебания в различных условиях лесной обстановки Ленинградской области и влияние их на возобновление ели. Сборник исследований по лесоводству, Л., 1936.  
 [3] И. И. Журавлев. Диагностика болезней леса при помощи физических и химических методов. Изд. ЦНИИЛХ, Л., 1955.  
 [4] Г. Ф. Морозов. Учение о лесе. Изд. 4, Л., 1928.  
 [5] Ф. Б. Орлов. Интенсивность выжимания всходов и влияние некоторых факторов на нее в условиях Севера. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 4, 1958.  
 [6] Ф. Б. Орлов, П. Ф. Совершаев. Выжимание лесных культур морозом и меры борьбы с ним. Архангельское книжное изд-во, Архангельск, 1962.  
 [7] П. Ф. Совершаев. О природе выжимания всходов и сеянцев морозом. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 3, 1961.  
 [8] А. П. Тольский. Частное лесоводство. Основы лесокультурного дела, ч. III, Л., 1930.

Поступила в редакцию  
25 марта 1963 г.



**ВОЗРАСТНОЕ СТРОЕНИЕ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ДРЕВОСТОЕВ  
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

**В. И. КАЛИНИН**

Старший преподаватель

(Архангельский лесотехнический институт)

У лесоводов сложилось мнение, что светолюбивые породы, в том числе лиственница, образуют разновозрастные насаждения.

Однако еще в 1911 г., изучая леса Севера, проф. М. Е. Ткаченко [4] подметил, что наравне с разновозрастными встречаются спелые сосновые и лиственничные насаждения, состоящие из нескольких разновозрастных поколений.

Возрастную структуру лиственничных древостоев до последнего времени детально не изучали. Только в шестидесятых годах появился ряд работ по этому вопросу.

Исследования лиственничных древостоев Хабаровского и Красноярского краев, которые проводили С. С. Шанин и С. Н. Товбис [6], показали, что возрастное строение весьма различно.

Для изучения возрастной структуры лиственничников Архангельской области нами в Шелековском участке учебно-опытного лесхоза АЛТИ в 1959—1961 гг. заложено 5 пробных площадей со сплошной рубкой в спелых и перестойных древостоях и одна в молодняках. Всего срублено 695 деревьев и определен их возраст. Лиственничные молодняки, возникшие на чистой гари, представляют собой разновозрастный древостой. В год обследования (1961 г.) самое старое дерево имело возраст 26 лет, самое молодое — 15 (средний возраст 21 год). В этом возрасте насчитывается 23000 лиственничных деревьев на 1 га [2].

Иное положение наблюдается в спелых и перестойных насаждениях.

Наглядное представление о возрастном строении таких древостоев дает распределение числа деревьев лиственницы по 20-летним классам возраста (табл. 1). Таким образом, разница возрастов деревьев составляет от 100 до 220 лет.

Таблица 1

№ пробы	Количество деревьев (%) в возрасте (лет)											
	70	90	101	130	150	170	190	210	230	250	270	290
4	3,0	11,2	23,4	18,4	21,4	13,6	5,0	2,0	2,0	—	—	—
3	—	2,1	2,1	4,2	9,4	9,4	15,6	15,6	19,8	12,5	8,3	1,0
29	—	—	—	—	5,3	9,9	39,4	17,8	10,5	17,1	—	—
2	—	—	—	—	—	15,5	29,6	35,2	15,5	2,8	1,4	—
1	—	—	—	—	—	—	12,8	17,0	31,9	29,8	8,5	—

Резко выраженных поколений не наблюдается, хотя распределение характеризуется двухвершинной (пробы 4 и 29) или асимметричной (проба 3) кривыми. На пробных площадях 1 и 2 распределение числа деревьев по классам возраста приближается к кривой нормального вариационного ряда.

Максимальное число деревьев в одном двадцатилетнем классе возраста колеблется от 19,8 до 39,4%. По определению С. С. Шанина и С. Н. Товбиса [6] только древостой пробной площади 29 можно считать разновозрастным, все остальные относятся к исключительно разновозрастным.

Нам кажется, что при оценке возрастного строения спелых и перестойных насаждений следует применять 40-летние классы возраста, которые будут объединять все деревья основного поколения.

Наиболее правильно к оценке разновозрастности, на наш взгляд, подошли Р. Г. Синельщиков [3] и И. И. Гусев [1], которые рассматривают распределение числа деревьев по относительным классам, или естественным ступеням возраста, выраженным в десятых долях среднего возраста. Такое распределение приводится в табл. 2.

Таблица 2

№ пробы	Средний возраст древостоя, лет	Количество деревьев (%) по естественным ступеням возраста											
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
4	135	2,1	6,1	11,3	16,2	13,7	14,1	14,0	10,0	6,4	3,3	1,4	1,4
3	204	2,1	3,6	7,8	9,6	14,0	15,9	18,8	15,0	9,9	3,1	—	—
29	204	—	—	—	8,9	35,3	26,7	14,0	15,1	—	—	—	—
2	203	—	—	—	—	28,0	38,0	24,1	7,9	2,0	—	—	—
1	229	—	—	—	—	21,6	41,7	36,7	—	—	—	—	—

На пробных площадях 1 и 2 отмечается сравнительно небольшая разновозрастность, в центральных ступенях 0,9—1,1 сосредоточено 90—100% всех деревьев. Такие древостои можно отнести к условно одновозрастным. На остальных пробных площадях (3, 4 и 29) центральные ступени менее населены, только в ступенях 0,8—1,2 насчитывается 68—100% деревьев. Это разновозрастные древостои.

Таким образом, нами установлено наличие одновозрастных листовенных молодняков, условно одновозрастных и разновозрастных спелых и перестойных древостоев. Различие возрастного строения выделенных возрастных групп характеризуется варьированием возраста деревьев (табл. 3).

Таблица 3

Возрастная структура древостоя	№ пробы	Средний возраст древостоя, лет	Коэффициент вариации возраста, %
Условно одновозрастные	1	229	10,0
	2	203	10,7
Разновозрастные . . .	3	204	21,5
	4	135	29,5
	29	204	14,4

Коэффициент вариации в условно одновозрастных древостоях характеризует малую изменчивость возраста деревьев, в разновозрастных — среднюю [5].

Природа разновозрастных лиственничных древостоев связана с наличием часто повторяющихся лесных пожаров. Как говорит М. Е. Ткаченко [4], в северных смешанных лесах происходит круговорот явлений. Он приводит такую схему: под пологом сосново-лиственничного древостоя появляется ель, которая выходит в первый ярус и вытесняет сосну, — пожар — погибает ель и напочвенный покров, на освободившемся месте появляются всходы лиственницы и сосны; создается смешанный сосново-лиственничный древостой из двух поколений; под ним вновь появляется ель — пожар — ель погибает и т. д.

По пожарным подсудинам и литературным источникам нами установлено, что леса в районе исследования были пройдены пожарами в 1735, 1751, 1756, 1801 и 1826 гг., то есть приблизительно через каждые 20—40 лет. Если учесть, что наибольшее число всходов лиственницы появляется на пятый—восьмой годы после пожара, то максимум числа деревьев на пробных площадях (табл. 1) как раз совпадает с указанными годами пожара.

Таким образом, на основании анализа лиственничных древостоев можно констатировать, что наряду с одновозрастными, существуют и разновозрастные лиственничные древостои, состоящие из нескольких одновозрастных поколений.

Ввиду частой повторяемости пожаров возрастные поколения перекрываются между собой и расчленить древостои на поколения практически не представляется возможным. По размерам и внешнему виду деревьев более или менее правильно можно выделить самое старое и самое молодое поколения, представленные небольшим количеством деревьев. Основная же масса деревьев, состоящая также из нескольких поколений, почти не поддается делению. Таксацию таких древостоев аналитически произвести невозможно. По нашему мнению, условно одновозрастные и разновозрастные насаждения (без старшего поколения) следует таксировать так же, как и одновозрастные.

Эти насаждения характеризуются своеобразным строением по толщине. Кривые распределения имеют асимметричный характер с вытянутой правой ветвью, но после отделения старшего поколения принимают симметричный вид и приближаются к распределению нормальных древостоев (табл. 4).

Таблица 4

Количество проб	Средний диаметр, см от—до	Количество деревьев (%) по естественным ступеням толщины															
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	
Условно одновозрастные																	
2	33—46			7,8	7,6	12,6	15,9	17,5	14,4	6,3	6,3	5,4	3,4	1,5	1,0	0,3	
Разновозрастные																	
3	30—41	0,9	6,6	9,4	12,6	10,6	13,1	11,6	10,4	7,9	5,1	4,5	2,8	2,1	1,4	1,0	
Условно одновозрастные без старшего поколения																	
2	31—44			9,6	11,8	17,3	19,3	19,8	14,4	3,9	3,5						

Важное значение в таксации имеет установление среднего возраста древостоя. Для этой цели часто рубят среднее по толщине дерево. В разновозрастных древостоях оно редко совпадает со средним деревом по возрасту, что видно из табл. 5.

Таблица 5

№ пробы	Место среднего дерева от начала ряда, % от общего числа деревьев	
	по диаметру	по возрасту
1	53,2	42,4
2	52,3	47,0
3	59,4	45,0
4	60,5	56,5
29	57,5	57,5

Только в одном случае места средних по диаметру и возрасту деревьев совпали (проба 29), во всех остальных случаях первое старше второго.

Поэтому, как говорят С. С. Шанин и С. Н. Товбис [6], в разновозрастных древостоях, особенно с асимметричным строением, нельзя определять средний возраст по модели, имеющей средний диаметр. Для этой

цели, в зависимости от заданной точности, они рекомендуют рубить от 2 до 17 модельных деревьев в сравнительно разновозрастных древостоях и от 4 до 45 — в разновозрастных.

При выборе модельных деревьев можно использовать существующую связь между возрастом и грудным диаметром деревьев в разновозрастных древостоях, которая, по нашим данным, выражается уравнением типа  $A = a + vD$  (табл. 6).

Таблица 6

№ пробы	Средний возраст, лет	Коэффициент корреляции с ошибкой	Уравнение связи	Основная ошибка корреляционного уравнения
1	229	0,474 ± 0,111	$A = 180 + 1,29D$	± 20
2	203	0,900 ± 0,023	$A = 142 + 1,9D$	± 10
3	204	0,740 ± 0,046	$A = 79 + 3,1D$	± 30
4	135	0,757 ± 0,043	$A = 65,8 + 2,37D$	± 26
29	204	0,735 ± 0,037	$A = 140 + 2,05D$	± 20

Данные табл. 6 показывают, что между диаметром и возрастом существует сравнительно высокая связь, за исключением пробной площади 1. Однако ошибка корреляционных уравнений подтверждает вывод, что для определения среднего возраста древостоев необходимо рубить несколько модельных деревьев. По нашим данным, при заданной точности 10; 5 и 3%, в условно разновозрастных насаждениях необходимо рубить соответственно 1; 4 и 12 модельных деревьев, а в разновозрастных — 5; 20 и 50.

Изучение возрастной структуры спелых и перестойных лиственничных древостоев Архангельской области продолжается.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. И. И. Гусев. К вопросу о возрастной структуре ельников Архангельской области. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 2, 1962. [2]. В. И. Калинин. Формирование смешанных лиственнично-сосновых молодняков на гарях. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 6, 1962. [3]. Р. Г. Синельщиков. К вопросу о возрастной структуре ельников Севера. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 1958. [4]. М. Е. Ткаченко. Леса Севера. Труды по лесному опытному делу, вып. XXV, 1911. [5]. А. В. Тюрин. Основы вариационной статистики в применении к лесоводству. Гослесбумиздат, 1961. [6]. С. С. Шанин, С. Н. Товбис. Возрастное строение лиственничных древостоев. Лиственница (XXIX сб. статей Сибирского технологического института), Красноярск, 1962.

Поступила в редакцию  
19 марта 1963 г.

ХОД РОСТА СЕМЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ  
КАШТАНОЛИСТНОГО ДУБА

А. М. ГУСЕЙНОВ

Кандидат сельскохозяйственных наук

Н. А. САДЫХОВ

И. о. старшего научного сотрудника

(Азербайджанский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации)

Одна из ценнейших реликтовых пород лесов Азербайджана — дуб каштанolistный (*Quercus castaneifolia* С. А. М.) — является основной лесообразующей породой Ленкоранского лесорастительного района. Это крупное дерево, достигающее 50 м в высоту и 2,5 м в диаметре на высоте груди. Дуб каштанolistный образует насаждения высокой производительности в низменности, нижнем, среднем и верхнем горном поясах. Его участие в составе насаждений увеличивается от южной части Ленкоранского массива к северной.

Кроме Ленкоранской зоны, этот вид дуба встречается в незначительном количестве в лесах южных склонов Большого Кавказа на территории Исмаиллинского лесхоза.

Общая площадь лесов из высокоствольного дуба каштанolistного равняется 52,8 тыс. га, что составляет 33,2% площади всех семенных дубовых лесов республики. Запас этих насаждений, вследствие высокой производительности, составляет 7355,9 тыс. м<sup>3</sup>, или 46,3% общего запаса дубовых лесов республики.

Такое соотношение объясняется тем, что дуб каштанolistный редко образует насаждения ниже III класса бонитета, в то время как насаждения других видов дуба (*Quercus iberica* Stev., *Quercus longipes* Stev., *Quercus macranthera* F. et M., *Quercus araxina* (Trautv.) A. Grossh.) характеризуются в среднем III—IV и даже V—Va классами. К тому же полнота этих дубовых насаждений, как правило, понижена.

Работники АзербНИИЛХа в 1961—1962 гг. в порядке выполнения договорной темы с Главным управлением лесного хозяйства при Совете Министров АзССР изучали таксационную структуру насаждений этой породы и составили таблицы, в том числе таблицу хода роста семенных чистых насаждений. Для этого были использованы данные 40 пробных площадей Ia—III классов бонитета, которые соответствуют типам лесов: дубняк боярышниковый (*Quercetum crataegosum*), дубняк мертвopoкpовный (*Quercetum nudum*), дубняк чиевый (*Quercetum lasiagrostidosum*), дубняк с покровом из ежи сборной (*Quercetum dactylosum*).

Из 40 пробных площадей 29 заложены авторами, 11 взяты из материалов лесоустройства. На пробах срублено и проанализировано 538 модельных деревьев.

Таблица 1

## Ход роста семенных насаждений каштанолистоного дуба

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число деревьев на 1 га	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Древостой				Отпад			Общая производительность насаждений с корой, м <sup>3</sup>	
					запас на 1 га		прирост (без коры)		число стволов на 1 га	запас на 1 га, м <sup>3</sup>	сумма запасов на 1 га, м <sup>3</sup>		
					в коре	% коры	без коры	средний					текущий
<b>Ia класс бонитета (дубняк боярышниковый)</b>													
20	10,0	8,0	3704	18,5	89	14,3	76	3,8	—	478	—	—	89
30	14,7	13,9	1608	24,4	15	14,2	134	4,5	—	435	43	43	199
40	19,0	19,7	979	29,8	235	14,1	202	5,0	5,8	414	38	38	316
50	23,2	24,8	728	35,2	328	14,0	282	5,6	6,8	402	32	32	441
60	26,7	29,5	578	39,6	416	13,9	358	6,0	8,0	394	32	32	561
70	29,1	34,0	469	42,6	483	13,8	416	6,0	7,6	390	35	35	663
80	30,9	38,3	389	44,9	536	13,7	463	5,8	5,8	387	36	36	752
90	32,1	42,5	327	46,4	575	13,6	497	5,5	4,7	386	36	36	827
100	32,9	46,5	279	47,4	600	13,5	519	5,2	3,4	385	35	35	887
110	33,5	50,4	241	48,1	619	13,4	536	4,9	2,2	384	34	34	940
120	34,1	54,3	211	48,9	638	13,4	553	4,6	1,7	383	30	30	991
130	34,6	58,1	187	49,5	656	13,3	569	4,4	1,6	383	24	30	1039
140	35,0	61,7	167	50,0	669	13,2	581	4,1	1,2	382	20	28	1080
150	35,3	64,5	154	50,4	680	13,2	590	3,9	0,9	382	13	20	1111
160	35,5	66,5	146	50,6	687	13,1	597	3,7	0,7	382	8	14	1132
<b>I класс бонитета (дубняк мертвопокровный)</b>													
20	8,5	6,9	4494	16,6	71	14,3	61	3,0	—	501	—	—	71
30	12,4	12,4	1780	21,5	121	14,2	104	3,5	4,3	452	38	38	159
40	16,2	17,5	1097	26,3	182	14,1	156	3,9	5,2	426	28	66	248
50	19,7	22,1	800	30,7	250	14,0	215	4,3	5,9	412	26	92	352
60	22,9	26,6	625	31,8	320	13,9	276	4,5	6,1	402	27	119	439
70	25,0	31,0	496	37,4	371	13,8	320	4,6	4,4	397	31	150	521
80	26,8	35,3	405	39,7	419	13,7	362	4,5	4,2	394	31	181	600
90	28,0	39,1	343	41,2	454	13,7	392	4,3	3,0	392	27	208	662
100	28,8	42,8	293	42,2	474	13,6	409	4,1	1,7	390	28	236	662
110	29,4	46,4	254	43,0	491	13,5	425	3,8	1,6	389	26	262	753
120	30,0	49,7	225	43,7	510	13,5	441	3,6	1,5	389	23	285	795
130	30,5	53,0	201	44,3	525	13,4	455	3,5	1,0	388	22	307	832
140	30,9	55,9	183	44,9	536	13,3	465	3,3	1,0	387	19	326	862
150	31,2	58,3	169	45,2	546	13,3	473	3,1	0,8	387	16	342	888
160	31,4	60,3	159	45,5	551	13,2	478	3,0	0,5	386	10	355	906

Продолжение табл. 1

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число деревьев на 1 га	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Древостой				Отпад			Общая производительность насаждений с корой, м <sup>3</sup>
					запас на 1 га		прирост (без коры)		число стволов на 1 га	запас на 1 га, м <sup>3</sup>	сумма запасов на 1 га, м <sup>3</sup>	
					в коре	% коры	без коры	средний				
<b>II класс бонитета (дубняк чиевый)</b>												
20	6,9	5,1	7307	14,6	54	14,4	46	2,3	—	—	—	54
30	10,2	10,5	2183	18,8	91	14,3	78	2,9	3,2	40	40	131
40	13,4	15,3	1239	22,8	136	14,2	117	2,8	3,9	26	66	202
50	16,4	19,5	889	26,6	185	14,1	159	3,2	4,3	21	87	272
60	18,9	23,7	674	29,7	233	14,0	200	3,3	4,1	22	109	342
70	20,9	27,8	536	32,6	278	13,9	239	3,4	3,9	22	131	409
80	22,7	31,7	439	34,5	316	13,8	272	3,4	3,3	23	154	470
90	23,9	35,2	370	36,0	344	13,8	297	3,3	2,5	22	176	520
100	24,7	38,5	318	37,0	364	13,7	314	3,1	1,7	20	196	560
110	25,3	41,6	278	37,8	380	13,6	328	3,0	1,4	19	215	595
120	25,9	44,6	247	38,6	395	13,6	341	2,8	1,3	17	232	627
130	26,4	47,4	222	39,2	409	13,5	354	2,7	1,3	16	248	657
140	26,8	50,0	202	39,7	419	13,5	362	2,6	0,8	15	263	682
150	27,0	52,1	187	39,9	424	13,4	367	2,4	0,5	13	276	700
160	27,2	54,0	175	40,2	429	13,4	371	2,3	0,4	11	287	716
<b>III класс бонитета (дубняк с покровом из ежи сборной)</b>												
20	5,6	3,8	11796	13,0	42	14,4	36	1,8	—	—	—	42
30	8,8	9,0	2519	16,1	66	14,3	57	1,9	2,1	44	44	110
40	10,5	13,7	1303	19,1	96	14,2	82	2,0	2,5	21	65	161
50	12,8	17,8	885	22,0	126	14,1	108	2,1	2,6	17	82	208
60	14,8	21,5	677	24,6	158	14,0	136	2,2	2,8	15	97	255
70	16,7	24,9	554	27,0	191	13,9	164	2,3	2,8	13	110	301
80	18,5	28,2	468	29,2	225	13,8	194	2,4	3,0	13	123	348
90	19,7	31,5	395	30,7	250	13,8	216	2,4	2,2	15	138	388
100	20,5	34,4	342	31,7	266	13,7	229	2,3	1,3	14	152	418
110	21,1	37,2	299	32,5	279	13,6	241	2,2	1,2	14	166	445
120	21,7	40,0	265	33,3	292	13,6	252	2,1	1,1	13	179	471
130	22,2	42,3	241	33,9	304	13,5	262	2,0	1,0	11	190	494
140	22,6	44,4	222	34,4	313	13,5	270	1,9	0,8	10	200	513
150	22,8	46,3	206	34,6	318	13,4	275	1,8	0,5	9	209	527
160	23,0	47,7	193	34,9	323	13,4	279	1,7	0,4	8	217	540

Анализ возрастной структуры древостоев показал, что дуб каштанолистный образует разновозрастные, условно разновозрастные и разновозрастные древостои.

Насаждения, в которых колебание возраста модельных деревьев не превышало 20 лет, считались разновозрастными, 20—40 лет — условно разновозрастными, свыше 40 лет — разновозрастными.

Для составления таблиц хода роста использованы данные разновозрастных и условно разновозрастных древостоев, так как ряды распределения деревьев по ступеням толщины в них не отличались, что подтверждено соответствующими вычислениями. Построение таблиц хода роста было выполнено графико-аналитическим методом, широко применяемым при лесотаксационных исследованиях. Все вычисленные таксационные признаки сведены в таблицу, которая характеризует ход роста семенных насаждений каштанолистного дуба (табл. 1).

На основании установленной закономерной связи между средними высотами, суммами площадей сечений, запасом и видовыми числами в наиболее сомкнутых семенных насаждениях выведены следующие формулы для глазомерного определения суммы площадей сечения и запаса древостоев каштанолистного дуба на 1 га:

$$G = 1\frac{1}{4} (H + 6);$$

$$M = 1\frac{2}{3} (H - 5) \cdot P \quad \text{для средней высоты 10—20 м;}$$

$$M = 2\frac{3}{4} (H - 11) \cdot P \quad \text{для средней высоты 21—35 м.}$$

Используя эти формулы, мы составили таблицу сумм площадей сечений и запасов семенных насаждений каштанолистного дуба при полноте 1,0 (табл. 2).

Таблица 2

Таблица запасов и сумм площадей сечений каштанолистного дуба

Средняя высота, м	Сумма площадей сечений деревьев на 1 га, м <sup>2</sup>	Запас древостоев на 1 га, м <sup>3</sup>
10	20,0	83
11	21,3	100
12	22,5	116
13	23,8	133
14	25,0	149
15	26,3	166
16	27,5	183
17	28,8	199
18	30,0	216
19	31,3	232
20	32,5	249
21	33,8	275
22	35,0	303
23	36,3	330
24	37,5	358
25	38,8	385
26	40,0	413
27	41,3	440
28	42,5	468
29	43,8	495
30	45,0	523
31	46,3	550
32	47,5	578
33	48,8	605
34	50,0	633
35	51,2	660



Средние квадратические ошибки этих формул (и вычислений) равняются: для площадей сечений  $\pm 0,3\%$ , для запаса  $\pm 2,9\%$ .

Составленные таблицы мы сравнивали со стандартной таблицей Н. В. Третьякова и таблицами хода роста семенных дубовых насаждений Украинской ССР М. В. Давидова.

Сравнение показало, что при средней высоте древостоя 10—30 м суммы площадей сечений на 9,6% больше, чем в стандартной таблице, и на 11,6% — чем в украинских.

Густота древостоя I класса бонитета в среднем больше на 13,4%, чем полученная по таблице М. В. Давидова.

Разница в запаса оказалась незначительной, что обусловлено более низким коэффициентом формы стволов каштанолистного дуба ( $q_2 = 0,610$ ).

Количественная спелость насаждений дуба каштанолистного в Ia классе бонитета наступает в 69 лет, в I — в 70, во II — в 77 и в III — в 86 лет, то есть примерно на 10 лет раньше, чем в семенных дубовых насаждениях Украинской ССР.

Процентное содержание коры у деревьев различных ступеней толщины колеблется от 14,2 до 13,1. По опубликованным данным, у других видов дуба эта величина примерно в 1,2 раза больше, чем в высших ступенях толщины, и в 2 раза — чем в низших. Этим в некоторой степени можно объяснить довольно часто встречающиеся случаи срастаний отдельных деревьев дуба каштанолистного. Это явление, часто наблюдавшееся нами у реликтовых пород лесов Ленкоранского лесорастительного района, видимо, является одной из особенностей, обусловившей, наряду с другими, их сохранность на протяжении многих миллионов лет.

Дуб каштанолистный, приспособляясь к изменившейся среде, приобрел очень гибкие экологические свойства. Так, введенный в культуру за пределы естественного ареала, он проявил себя породой весьма засухоустойчивой, быстрорастущей и неприхотливой к почвенным условиям. В самых ранних культурах этого дуба, созданных в 1934 г. в Кубинском и Яламинском лесхозах, в возрасте 25 лет запас на 1 га составлял 280 м<sup>3</sup> при средней высоте 17 м и диаметре на высоте груди 14 см. В естественных насаждениях Ia класса бонитета такой производительности дуб каштанолистный достигает лишь в возрасте 45 лет.

В Муганской степи в полезащитных лесных полосах при гнездовом посеве в возрасте 12 лет на дуб каштанолистный приходится 90 м<sup>3</sup> из общего запаса 134 м<sup>3</sup>.

Понятно, что наши таблицы, составленные на основе проб, заложенных в естественных насаждениях, не могут отражать хода роста дуба в культуре. Этот вопрос должен быть предметом специального исследования.

Поступила в редакцию  
24 сентября 1962 г.

## РАК НА ПИХТЕ СИБИРСКОЙ

А. В. КРАСИКОВА

Инженер

(Сибирский технологический институт)

Болезни и пороки пихты сибирской, их влияние на рост и развитие деревьев, качество и выход древесины изучены недостаточно, несмотря на наличие ряда работ в этой области ([10], [12], [5], [6], [2], [1], [7], [11] и др.).

В статье дана характеристика одного из основных пороков древесины пихты сибирской — рака ствола, не отраженного в действующем ГОСТе 2140—43. Приведены сведения о распространенности его в пихтовых лесах района железной дороги Ачинск—Абалаково, где пихта является главной породой, и определено влияние рака на выход деловой древесины, рост и состояние деревьев. Исходными данными послужили материалы 24 пробных площадей, заложенных в 1961 и 1962 гг. На них срублено и обмерено 1130 модельных деревьев, сделано 18 анализов ствола, обследовано 815 экземпляров подроста пихты.

Развитие опухоли начинается с образования на стволе небольшой продольной трещины с вывороченными краями. В дальнейшем происходит утолщение ствола в месте поражения за счет разрастания клеток древесины. Последняя приобретает повышенную влажность. В конечной стадии растрескивание идет в самых различных направлениях. В трещины попадают споры грибов, которые, развиваясь, вызывают сильные разрушения древесины. Одновременно с раковыми опухолями, на пихте отмечен трутовик Гартига (*Phellinus Hartigii* Bond.), на что ранее указывали Гартиг [4] и М. Е. Парфилова [9] для других видов пихты (рис. 1). Из числа модельных деревьев со стволовой и комлевой гнилью 13% имели рак ствола. Опухоли охватывают дерево по всей окружности, реже встречаются с одной стороны ствола. Наряду с этим, встречаются опухоли на ветвях и ведьмины метлы. Последние иногда образуются на раковой опухоли ствола или ветвей. Утолщения носят местный характер — по длине распространяются в среднем на 30—35 см и не влияют на древесину всего ствола. Но прочность ее в зоне опухоли сильно снижается, что часто влечет за собой облом именно в месте развития опухоли и язвы рака. Кроме того, в этом месте происходит искривление ствола (рис. 2).

Возбудителями рака на пихте, по утверждению С. И. Ванина [3], являются в основном сумчатые и ржавчинные грибы. В частности он указывает на *Melampsorella cerastii* Wint., в результате заражения которым на стволе и ветвях пихты образуются раковые опухоли, а также ведьмины метлы. С. Р. Шварцман [12], И. И. Молоткова [8], М. Е. Парфилова [9] также отмечают *Melampsorella cerastii* на пихте. Ранее



Рис. 1. Раковая опухоль и *Phellinus Hartigii* Bond. на пихте сибирской.

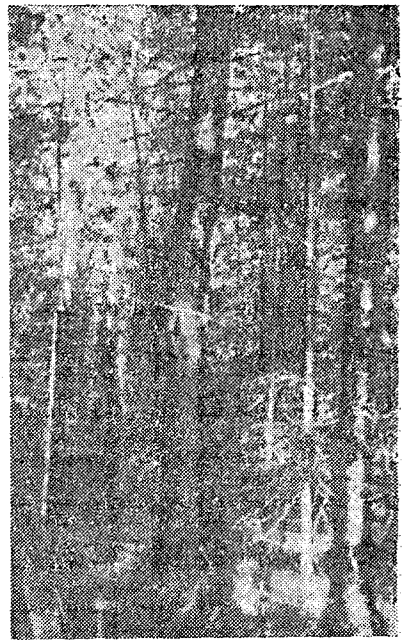


Рис. 2. Искривление ствола пихты в результате развития раковой опухоли.

В: Собичевский [10], Р. Гартиг [4], Гуман [7] описывали эцидиальную стадию гриба *Aecidium elatinum* Alb. et Schw. — возбудителя раковых образований на ветвях и стволах пихты.

Встречаемость раковых опухолей и ведьминых метел на пихте в различных типах леса колеблется в незначительных пределах (табл. 1). В среднем в пихтовых лесах раковые опухоли на стволе развиваются на 5,2% деревьев. Нередко встречаются экземпляры пихты, имеющие на стволе две-три и более опухоли.

Таблица 1

Встречаемость %							
пихтарник пойменный				пихтарник-зеленомошник			
№ пробных площадей	рак ствола	рак ветвей	ведьмины метлы	№ пробных площадей	рак ствола	рак ветвей	ведьмины метлы
74	18,5	...	...	75	0,9	...	...
80	7,6	...	...	79	1,8	...	...
85	2,7	...	...	82	7,2	...	...
86	0,9	...	...	95	4,0	...	...
100	2,6	...	...	230	5,9	2,9	0,6
201	6,0	5,8	1,4	232	1,8	0,0	0,0
213	7,9	7,9	3,8	233	6,6	6,6	1,3
214	1,2	2,5	0,0	234	9,8	10,6	2,7
215	6,4	3,9	3,9	235	2,7	3,3	5,4
228	0,0	0,0	0,0	266	3,9	2,9	1,0
273	9,1	9,9	7,2	275	2,4	7,1	11,9
280	8,1	10,8	6,5	281	6,4	7,0	3,7
Средние показатели	5,9	5,8	2,9	Средние показатели	4,5	5,1	3,3

Таблица 2

Ступень толщины, см	Встречаемость рака ствола по третям высоты, %			Встречаемость рака ветвей по третям высоты, %			Встречаемость вельминых метел по третям высоты, %		
	нижняя	средняя	верхняя	нижняя	средняя	верхняя	нижняя	средняя	верхняя
4	64,0	32,0	4,0	38,0	52,0	10,0	40,0	60,0	—
8	86,0	14,0	—	60,0	38,0	2,0	60,0	20,0	20,0
12	84,0	16,0	—	60,9	36,9	2,8	22,2	33,3	44,5
16	86,0	14,0	—	63,6	34,9	1,5	28,6	57,2	14,2
20	81,0	19,0	—	69,0	31,0	—	75,0	25,0	—
24	82,0	18,0	—	50,0	45,0	5,0	22,0	77,8	—
28	77,0	23,0	—	64,5	29,0	6,5	50,0	50,0	—
32	90,0	10,0	—	66,6	33,4	—	—	100,0	—
36	100,0	—	—	—	—	—	—	100,0	—
Средняя встречае- мость	84,2	15,4	0,4	59,4	37,4	3,2	32,8	58,2	8,8

По высоте ствола раковые опухоли располагаются неравномерно. Чаще они бывают в нижней трети и очень редко в верхней (табл. 2). Отсюда следует, что раковые образования поражают наиболее ценную часть и снижают выход деловой древесины. Учитывая то, что по стволу они развиваются на небольшом протяжении, относительная величина потерь деловой древесины невелика и редко превышает 5—6%.

Ветви и сучья также в большей степени поражены раком в нижней части ствола. Вельмины метлы развиваются в основном в средней части дерева.

Для определения влияния опухолей ствола на рост пихты производили анализы хода роста деревьев, произрастающих рядом в одинаковых условиях, имеющих близкие диаметры, высоты и возраст. На одних стволах имелись раковые образования, на других их не было. В среднем интенсивность роста больных деревьев составляет 88,5% по сравнению со здоровыми.

Рак не оказывает существенного влияния на прирост зараженных ветвей и опадение хвои. Интенсивность прироста ветвей, имеющих раковые опухоли, составляет 95,4% от прироста здоровых. При сравнении предельного возраста хвои больных и здоровых ветвей значительных колебаний не наблюдается, часто хвоя на ветвях с опухолями держится дольше.

Зараженность подроста пихты раковыми опухолями не достигает большой величины. В возрасте до 30 лет он в среднем заражен на 7,7%. Но в отдельных возрастных группах эта болезнь развивается на 16% деревьев, которые в большинстве случаев замедляют рост по высоте и постепенно отмирают.

В качестве профилактических мер борьбы с раком следует рекомендовать проведение санитарных рубок, при которых больные деревья пихты будут удалять из леса. Это мероприятие может быть экономически оправдано в первую очередь в лесах, имеющих большую хозяйственную ценность, в пихтарниках пойменных, которые в силу своего местоположения вдоль долин крупных рек выделены в леса I группы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. И. Е. Андреев. Сердцевинная гниль пихты в северо-восточной части Южного Урала. Труды ЛТА, № 6 (44). 1935. [2]. А. И. Блажко. Напенная гниль пихты сибирской в алтайских лесах. Журн. «Лесное хозяйство» № 12, 1950. [3]. С. И. Ванин.

Лесная фитопатология. Гослесбумиздат, 1955. [4]. Р. Г а р т и г. Болезни деревьев. М., 1894. [5]. С. Н. Г о р ш и н. Главнейшие гнили хвойных деревьев и их открывка. Гослестехиздат, М., 1935. [6]. С. Н. Г о р ш и н. Зараженность, фаунистость и качественная производительность елово-пихтовых насаждений Семитского лесничества Татарской республики. Казань, 1931. [7]. В. Г у м а н. К биологии пихты сибирской. Петроград, 1917. [8]. И. И. М о л о т к о в а. Пихтовые леса и их сортиментация. Научные труды Закарпатской лесной опытной станции, т. 1, Ужгород, 1958. [9]. М. Е. П а р ф и л о в а. Ржавчина пихты в лесах Карпат. Журн. «Лесное хозяйство» № 12, 1952. [10]. В. С о б и ч е в с к и й. Современное состояние растительной патологии лесных деревьев и значение растительных паразитов-грибков при возвращении леса. «Лесной журнал» год 5, вып. 1—6, СПб., 1875. [11]. М. Т а р т е н о в а. Заболевание пихты сибирской, вызванное грибом *Laestadia abietella-sibirica* S. Schwarzman et M. Tartenova. Труды института ботаники АН Казахской ССР, т. VI, 1959. [12]. С. Р. Ш в а р ц м а н. Грибные заболевания пихтовых древостоев Восточно-Казахстанской области. Известия АН Казахской ССР, сер. Биологическая, вып. 7 № 132, Алма-Ата, 1954.

Поступила в редакцию  
2 января 1963 г.

## ДИНАМИКА ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

**В. Н. ВАЛЯЕВ**

Старший преподаватель

(Петрозаводский государственный университет)

Разновозрастность ельников Севера многократно отмечали русские исследователи А. С. Рожков, М. Е. Ткаченко, А. И. Тарашкевич, Г. Г. Гулюшкин, П. В. Воропанов, А. А. Корчагин и др., а также зарубежные — финские и шведские — таксаторы [1].

Анализ материалов инвентаризации разновозрастных лесов показывает, что в течение многих десятилетий их таксационные показатели — возраст, средняя высота, общий запас — изменяются в границах, мало превышающих точность глазомерной таксации. В лесоводственной литературе данных, вскрывающих сущность этих явлений, до сего времени опубликовано мало (А. А. Корчагин, Н. Н. Свалов).

Закономерности изменения таксационных показателей мы изучали при составлении эскиза таблиц хода роста разновозрастных еловых насаждений\*.

Натурные исследования проводили в Мезенском районе Архангельской области, где еловые насаждения не были затронуты выборочными рубками и сохранились в естественном состоянии. Объектом исследования послужили широко распространенные в этом районе долгомошники. На 30 пробных площадях сделан перечет с тщательным разделением деревьев на поколения, проведены сплошная рубка трех экспериментальных лесосек и соответствующие выборки из таксационных описаний 300 выделов. Для изучения естественного возобновления проведена сплошная рубка подроста на площади 8700 м<sup>2</sup> (21 проба), на площади 2800 м<sup>2</sup> подрост обследовали глазомерно.

Анализ показал, что в исследованных насаждениях ель представлена рядом поколений; разница в возрасте двух смежных поколений составляет обычно 50—70 лет. Их возникновение обуславливается своеобразными «взрывами возобновления» (П. В. Воропанов, 1950). Периодичность появления елового подроста, по нашим наблюдениям, связана с усиленным выпадением перестойных поколений, достигших возраста естественной спелости, в связи с чем в определенные периоды в насаждениях складываются особенно благоприятные гидротермальные условия

---

\* Методика, разработанная П. В. Горским и использованная нами при составлении таблиц, в кратком изложении опубликована в нашей статье «Опытные таблицы для ельников-долгомошников Мезенского района Архангельской области» (Сборник статей ИТО леспрома, Л., 1961).

для возобновления ели. Этот период длится 20—30 лет. Затем и эти условия нарушаются, и в последующие несколько десятилетий возобновление идет обычным замедленным темпом. Это наглядно показала рубка экспериментальных лесосек (рис. 1).

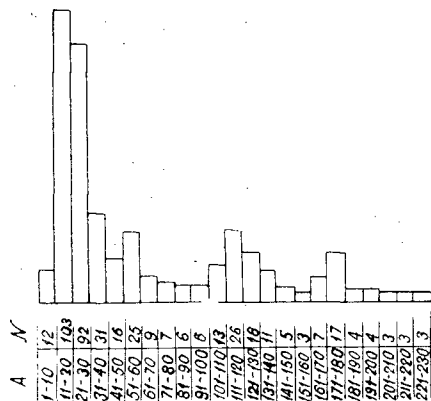


Рис. 1. Распределение 532 экземпляров ели по группам возраста на лесосеке № 1.

У примеси березы, которая независимо от возраста основного поколения ели составляет в среднем около 25% общего запаса на 1 га, поколения выражены слабее. Разница в их возрастах колеблется от 40 до 50 лет.

Изменение таксационных показателей всего разновозрастного насаждения зависит от их изменения в отдельных поколениях. Таким образом, изучение целого необходимо начинать с составной части, то есть с поколения.

В исследованных нами насаждениях наибольшим приростом ель обладает в возрасте 70—130 лет. В этот период годичный прирост по высоте может составлять от 6 до 15 см, а по диаметру — 1,0—1,5 мм.

В возрасте 150—200 лет прирост по высоте колеблется в пределах 3—4 см, а к 220 годам падает до 1,5 см и таким остается до гибели поколения. Прирост по диаметру более устойчив и в течение последних 150 лет жизни поколения составляет 0,6—0,7 мм в год.

Кульминация среднего прироста ели по запасу наблюдается в возрасте 100—120 лет.

Средний периодический за 10 лет («текущий») прирост поколения ели по запасу наиболее высок в возрасте 70—90 лет (0,4—0,5 м<sup>3</sup> в год на 1 га). Затем он начинает резко снижаться и к 170—180 годам сходит на нет, а начиная с X класса, приобретает отрицательное значение.

Поколения березы обладают наибольшим средним приростом в возрасте 90 лет. «Текущий» прирост достигает максимума к 80 годам, а затем круто падает и к 100 годам сходит на нет. В дальнейшем он становится отрицательной величиной, а к 150 годам отмирают последние представители поколения.

Исследования показывают, что в насаждениях, которые в течение длительного времени (200—250 лет) не уничтожались стихийными силами природы, смена поколений и связанные с ней изменения таксационных показателей протекают по определенной схеме.

Процессы смены поколений ели идут непрерывно. Каждое из них в возрасте, примерно, от 130 до 180—200 лет преобладает по запасу.

Затем оно начинает интенсивно отмирать и уступает доминирующее положение более молодому поколению.

Таким образом, понятие естественной спелости не может применяться по отношению к разновозрастным насаждениям. По достижении определенного возраста разрушаются лишь древостои перестойных поколений. Этот процесс приводит к изменению соотношения запасов в пользу более молодых элементов леса, то есть к изменению возраста насаждения на определенное количество лет, составляющее разность в возрастах между разрушающимся и более молодым поколениями. Этот процесс омоложения идет, как правило, постепенно, тем более, что между поколениями нет резко очерченных границ, и они всегда связаны между собой более или менее многочисленной группой деревьев промежуточного возраста (рис. 1).

В исследованных нами насаждениях разница в возрастах смежных поколений в большинстве случаев составляет около 60 лет. Следовательно и периодические изменения их возрастов не должны превышать 3—4 классов.

Совершенно аналогично идет развитие березы, хотя процесс смены поколений у нее и не привлекает такого внимания исследователей. В возрасте примерно 80 лет молодое поколение начинает преобладать по запасу над более старым и удерживает доминирующее положение до 120—130 лет, после чего уступает первенство более молодому.

На рис. 2 дано схематическое изображение динамики запасов поколений ели и березы в десятых долях от общего запаса на 1 га (в единицах состава) для насаждений, в течение длительного времени не уничтожавшихся силами природы.

Полученная нами схема по характеру довольно близка к схеме, предложенной Н. Н. Сваловым [2].

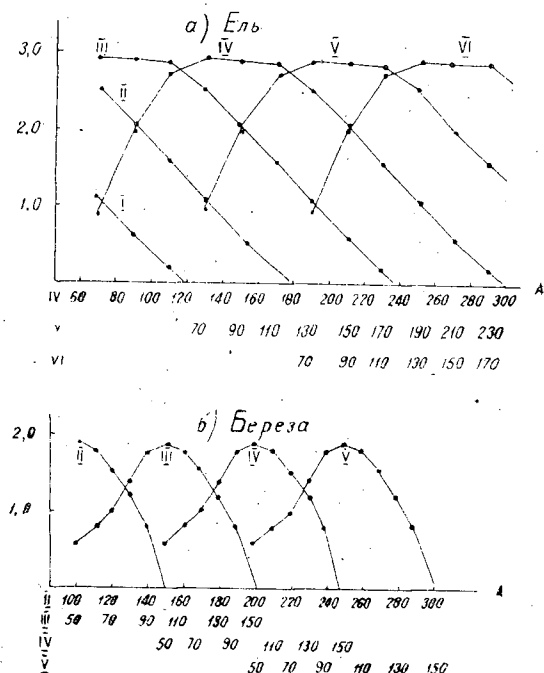


Рис. 2. Схемы изменения запасов поколений в единицах состава.



Если наши выводы о периодической смене поколений в ельниках правильны, то в природе возраст основной массы этих насаждений должен колебаться в пределах трех-четырех классов возраста.

В табл. 1 приводятся данные о распределении еловых насаждений в Мезенском лесхозе по классам возраста.

Таблица 1

Площадь ( $\frac{\text{тыс. га}}{\%}$ ) по классам возраста												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
—	$\frac{0,3}{—}$	$\frac{0,7}{—}$	$\frac{4,9}{0,5}$	$\frac{16,9}{1,7}$	$\frac{62,9}{6,2}$	$\frac{170,8}{17,0}$	$\frac{391,8}{38,7}$	$\frac{250,4}{24,4}$	$\frac{83,1}{8,2}$	$\frac{24,9}{2,5}$	$\frac{6,0}{0,6}$	$\frac{2,6}{0,2}$

Из таблицы видно, что более 88% насаждений относится к VII—X классам возраста. Это подтверждает правильность высказанных нами положений о периодическом омоложении насаждений и установления разницы в возрасте двух смежных поколений ели (для исследованного нами района) в 60 лет.

Какие изменения в связи с периодической сменой поколений и возраста насаждений испытывают другие таксационные показатели?

Анализ имеющегося материала говорит о том, что средние высоты насаждений также испытывают периодические изменения в пределах 2—2,5 м. Преобладание поколения 130—140-летнего возраста обуславливает снижение высоты и наоборот — по мере старения преобладающего поколения средняя высота насаждения увеличивается. Чем рельефнее проявляется изменение соотношений запасов старых и молодых поколений (например, в результате ветровала и бурелома перестойной ели), тем заметнее изменение средних высот насаждений. При постепенном отмирании перестойных деревьев средние высоты насаждений практически остаются неизменными, независимо от возраста преобладающего поколения.

Обработка данных глазомерной таксации показывает (рис. 3), что общий запас разновозрастных насаждений, состоящих из трех-четырех поколений, практически является величиной стабильной (для наших насаждений 80—90 м<sup>3</sup> на 1 га).

Объясняется это тем, что между возрастающим запасом молодых и спелых поколений ели и березы и уменьшающимся запасом перестойных

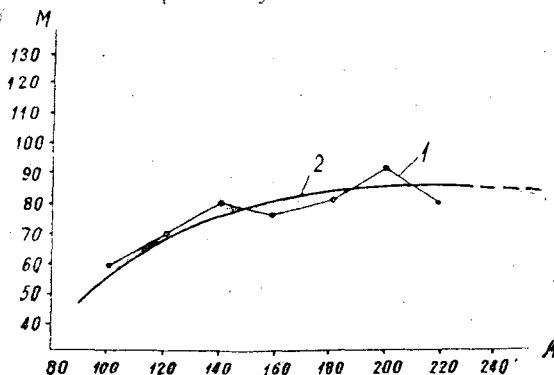


Рис. 3. Изменение с возрастом общего запаса насаждений (м<sup>3</sup>/1 га).

1 — средние арифметические данные глазомерной таксации; 2 — выравненная кривая.

деревьев (вследствие отпада) устанавливается подвижное равновесие. Изменения в общем запасе, которых мы вправе ожидать при достижении преобладающим поколением возраста естественной спелости и омоложения насаждения, сглаживаются растянутостью этого периода, а также отсутствием у поколений резко очерченных границ.

Этим объясняется тот факт, что по данным лесоустройства запасы еловых насаждений в девственных лесах Севера не претерпевают существенных изменений за длительные промежутки времени.

Казалось бы, что по мере выпадения перестойных поколений, представленных относительно крупномерными деревьями, и изменения соотношения запасов в пользу молодых, должна меняться товарная структура насаждений даже при постоянстве общего запаса.

Для выяснения этого вопроса мы исследовали динамику общего запаса по поколениям, представленную в эскизе таблицы хода роста.

В табл. 2 приводятся полученные нами данные по товарной структуре наиболее распространенных возрастных категорий исследованных ельников\*.

Таблица 2

Класс возраста преобладающего поколения	Выход сортиментов по классам крупности, % от общего запаса ели на 1 га	
	14,0 см и более	8,0—13,9 см
VII	25	38
VIII	26	39
IX	26	49
X	29	35

Из таблицы видно, что процент выхода деловой древесины из разновозрастных ельников является величиной устойчивой. Амплитуда колебаний по отдельным пробным площадям не выходит за пределы 10%.

Дальнейшие исследования показали, что колебания в выходе средней и крупной древесины (с диаметром в верхнем отрубе 14 см и выше), обуславливаемые сменой поколений, также не выходят за пределы  $\pm 5\%$ .

Таким образом, товарная структура разновозрастных еловых насаждений, состоящих из нескольких поколений, стабилизуется, как и другие таксационные показатели, в определенных рамках.

\* В Мезенском районе примесь березы в ельниках-долгомошниках деловых сортиментов не дает.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. С. А. Богословский, В. П. Зиновьев. Статистический метод учета лесных ресурсов. Гослестехиздат, 1932. [2]. Н. Н. Свалов. Непрерывное пользование в неосвоенных лесах. Журн. «Лесное хозяйство» № 12, 1961.

Поступила в редакцию  
17 февраля 1962 г.

## О ЗАВИСИМОСТИ ПРИРОСТА ДЕРЕВА ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПРИРОСТА ПРЕДШЕСТВУЮЩЕГО ГОДА

В. Е. РУДАКОВ

Инженер

(Управление главного архитектора г. Ялты)

Известно [4], что в паренхимных клетках древесины содержатся запасные (пластические) вещества, отлагающиеся в течение вегетационного периода, которые используются в будущем для построения новых частей растений. Также установлено, что изменение запасных веществ тесно связано с метеорологическими условиями года и общим состоянием растений. Отсюда следует, что по величине прироста текущего года можно судить о степени накопления растением запасных веществ в течение данного вегетационного периода. А так как величина запасных веществ оказывает влияние на рост растения будущего года, то представляет большой интерес установить количественную зависимость приростов текущего и последующего годов. Таких исследований ранее не проводили. Мы вначале построили график связи между смежными величинами модульных коэффициентов  $M$  годичного прироста сосен Бузулукского бора [2], приведенный на рис. 1. На графике  $AB$  — линия регрессии  $M$  относительно  $M_n$ , а  $A'B'$  —  $M_n$  относительно  $M_T$ .

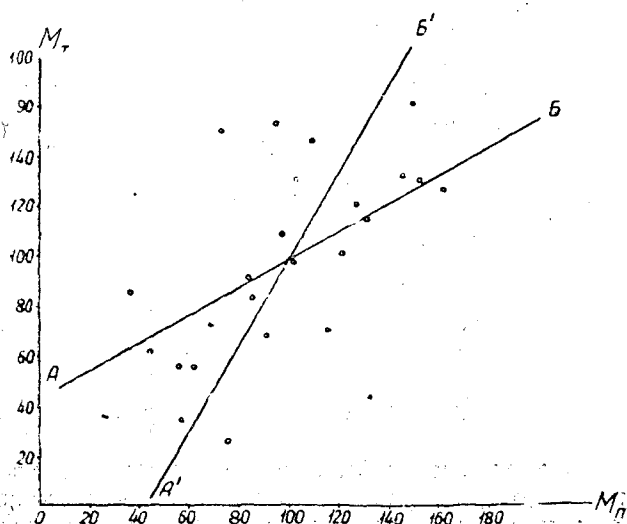


Рис. 1.

Несмотря на сильное рассеяние точек, зависимость обнаружилась. Это дало основание для определения количественной характеристики выявленной связи путем проведения корреляции между модульными коэффициентами годовичного прироста текущего  $M_T$  и предшествующего  $M_n$  годов

$$M_T = 0,57M_n + 43. \quad (1)$$

Коэффициент корреляции оказался равным  $r = 0,57 \pm 0,08$ . Предельные значения вероятной ошибки равны  $\pm 4E_r = \pm 0,32$ . Сложение этой величины с коэффициентом корреляции или ее вычитание знака  $r$  не изменяет. Это служит доказательством наличия установленной зависимости.

Средняя квадратическая ошибка уравнения связи  $S_M = 31$ . Амплитуда колебаний величин модульных коэффициентов годовичного прироста  $A_M = 135$ . Сходимость вычисленных по уравнению и фактических модульных коэффициентов годовичного прироста приведена в табл. 1.

Таблица 1

Категория ошибок, % от $A_M$	Число ошибок	Процент от общего числа ошибок	Сумма про- центов числа ошибок
0,0 — 10,0	13	52	52
10,1 — 20,0	5	20	72
20,1 — 30,0	3	12	84
30,1 — 40,0	1	4	88
40,1 — 50,0	2	8	96
50,1 — 55,0	1	4	100

Из этой таблицы видно хорошее совпадение вычисленных и фактических величин модульных коэффициентов годовичного прироста.

Такие результаты дают возможность составлять прогноз прироста древесины с годовой заблаговременностью, даже при отсутствии метеорологических данных, ибо метеорологические станции не всегда имеются вблизи лесных массивов. Для составления прогнозов используется то же уравнение связи (1).

Для проверки практической ценности данного метода прогноза результаты его должны быть сравнены с результатами прогнозирования (вычисления) по среднему модульному коэффициенту годовичного прироста (норме), которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Категория ошибок, % от $A_M$	Число ошибок	Процент от общего числа ошибок	Сумма про- центов числа ошибок
0,0 — 10,0	6	24	24
10,1 — 20,0	6	24	48
20,0 — 30,0	5	20	68
30,1 — 40,0	4	16	84
40,1 — 50,0	3	12	96
50,1 — 54,0	1	4	100

Из сравнения табл. 1 и 2 видно, что обеспеченность отклонений (погрешностей прогнозов), полученных в результате применения метода, гораздо выше, чем при вычислении по среднему модульному коэффициенту годовичного прироста, если не принимать во внимание максимальные ошибки.

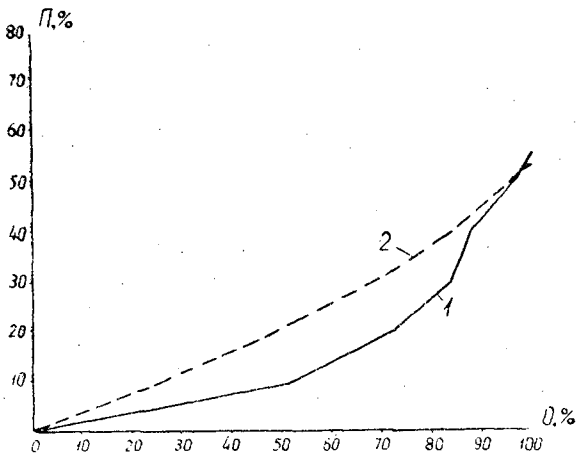


Рис. 2.

Это закономерно, так как крайние значения модульных коэффициентов объясняются более сильным влиянием на величину прироста колебаний осадков [3], чем запасных веществ.

На рис. 2 представлены кривые обеспеченности  $O$  погрешности  $P$  проверочных прогнозов величин модульных коэффициентов годового прироста по предшествующим (кривая 1) и по среднему (кривая 2) модульным коэффициентам.

На этом рисунке видно, что проверочные прогнозы, погрешность которых не превышает 30% амплитуды колебаний модульных коэффициентов годового прироста, составляют 84%, что определяет практическое значение предложенного метода [1]. В то же время обеспеченность погрешности, не превышающей 30% амплитуды, при прогнозировании по среднему модульному коэффициенту равна 68%, то есть прогнозы при таком способе имеют малую точность.

Нами установлено, что на прирост данного года оказывают влияние также осадки за предшествующий гидрологический год (с 1. X по 30. IX). Самостоятельное значение для прогноза такая связь имеет малое (хотя и с годовой заблаговременностью) из-за недостаточной тесноты ее ( $r = 0,42 \pm 0,11$ ). Однако в совокупности с влиянием прироста текущего года на прирост будущего года она может дать меньшую максимальную ошибку. Одновременная корреляция между модульными коэффициентами годового прироста текущего и предыдущего годов и осадками за предшествующий вегетации гидрологический год дала уравнение связи вида

$$M_T = 0,47M_n + 0,07X + 20, \quad (2)$$

где  $X$  — осадки за предшествующий гидрологический год.

Общий коэффициент корреляции  $R = 0,60$ .

Частные коэффициенты корреляции  $r_{M_T M_n} = 0,57 \pm 0,08$ ;  $r_{M_T X} = 0,42 \pm 0,11$ ;  $r_{M_n X} = 0,50 \pm 0,10$ .

Средняя квадратическая ошибка уравнения регрессии  $S_{M_T} = 31$ .

Из уравнений видно, что общий коэффициент корреляции несколько увеличился по сравнению с частными.

Сходимость вычисленных по уравнению (2) модульных коэффициентов годового прироста с фактическими показана в табл. 3.

Таблица 3

Категория ошибок, % от <i>A</i> <i>M</i>	Число ошибок	Процент от общего числа ошибок	Сумма про- центов числа ошибок
0,0 — 10,0	11	44	44
10,1 — 20,0	5	20	64
20,1 — 30,0	4	16	80
30,1 — 40,0	2	8	88
40,1 — 50,0	2	8	96
50,1 — 51,0	1	4	100

Из сравнения табл. 3 и 2 видно уменьшение только максимальной ошибки, достигнутое путем учета влияния осадков предшествующего года на прирост.

Наш метод прогноза, естественно, пока имеет только научный интерес. Для внедрения его в практику обслуживания лесного хозяйства необходимы дополнительные исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Наставление по службе прогнозов. Разд. 3, ч. II, Гидрометиздат, 1951.  
 [2]. В. Е. Рудаков. О методе изучения влияния колебаний климата на ширину годичных колец дерева. «Ботанический журнал» № 12, т. 43, 1708—1712, 1958. [3]. В. Е. Рудаков. К проблеме прогноза прироста деревьев. ДАН СССР, т. 130, 3, 686—689, 1960. [4]. А. А. Яценко-Хмелевский. Основы и методы анатомического исследования древесины. Изд. АН СССР, М.-Л., 1954.

Поступила в редакцию  
7 августа 1962 г.

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

В. И. ТАРАНКОВ

Младший научный сотрудник

(Биолого-почвенный институт ДВ филиала СО АН СССР)

Снежный покров в условиях сильно пересеченного рельефа Приморского края распределяется неравномерно. Наряду с другими факторами, на характер залегания снега большое влияние оказывает растительность, особенно лес.

Большая часть работ, посвященная распределению снежного покрова, относится к лесам Европейской части СССР, а для Приморского края этот вопрос не изучен.

В 1958—1961 гг. лесогидрологическая группа Лаборатории лесоведения ДВ филиала СО АН СССР провела наблюдения за снежным покровом в некоторых типах леса на юге Приморского края. Объекты исследований описаны в табл. 1 (Ботанический сад) и табл. 2 (Супутинский заповедник).

Глубину и плотность снега определяли ежедекадно снегомером Любославского по ходовым линиям (профилям) и на снегомерных площадках (25 × 25 м). В каждом типе леса глубину снега измеряли в 20 точках, а плотность — в 10.

В табл. 1 приведены данные снегомерных съемок в Ботаническом саду за 1959 г. ( $h$  — глубина покрова, см;  $\rho$  — плотность снега;  $w$  — запас воды, мм).

Из табл. 1 видно, что глубина снежного покрова при отсутствии снегопада последовательно уменьшается от начала к концу периода наблюдений, что связано с испарением и уплотнением снега. Во все сроки отчетливо выражен ряд распределения участков по уменьшению глубины снежного покрова: поляна, широколиственно-чернопихтовые насаждения, густой пихтовый молодняк и дубняк на южном склоне.

Плотность снега в дубняке и на поляне значительно выше, чем в широколиственно-чернопихтовом лесу и густом пихтовом молодняке, вследствие большего воздействия ветра и оттепелей. Следует отметить высокую интенсивность уплотнения снега за период с 25 по 28 января. В густом пихтовом молодняке плотность покрова за этот период практически не изменилась, что свидетельствует о большом защитном значении древесного полога высокой сомкнутости.

Запасы воды в снеге все время наибольшие на поляне. Уменьшение их в широколиственно-чернопихтовом лесу на северном склоне и в густом пихтовом молодняке, по сравнению с поляной, связано в основном с за-

Таблица 1

Места наблюдений	21.1-59 г.			25.1-59 г.			28.1-59 г.			4.11-59 г.		
	h	p	w	h	p	w	h	p	w	h	p	w
Поляны размером 50 × 50 м и 100 × 200 м	17,0	0,186	31,6	17,3	0,185	32,0	14,0	0,240	33,6	28,0	0,178	50,0
Широколиственно-чернопихтовое насаждение в верхней части северного склона крутизной 15°; полнота — 0,7; возраст — 150 — 200 лет . . .	20,0	0,130	26,0	17,2	0,160	27,3	14,0	0,183	25,6	25,0	0,150	37,5
То же на южном склоне крутизной 10°; полнота — 0,7 . . . . .	18,0	0,140	25,1	16,1	0,168	27,1	—	—	—	21,5	0,160	34,5
Густой чернопихтарник на водоразделе и в верхних частях южного и северного склонов; возраст 15 — 20 лет . . . . .	12,0	0,133	16,0	10,0	0,162	16,2	10,0	0,170	17,0	12,0	0,160	19,0
Дубняк на южном склоне крутизной 25°; полнота — 0,6; возраст — 80 — 120 лет . . . . .	—	—	—	10,3	0,226	23,3	6,2	0,400	24,8	10,6	0,256	27,1

держанием снега на кронах, в первом также с испарением и таянием, а в дубняке — с испарением, таянием и сдуванием снега. 11 февраля снежный покров в дубняке разрушился, в то время как в широколиственно-чернопихтовом лесу и на поляне запасы воды в снеге составляли 40—48 мм.

Аналогичные особенности в распределении снежного покрова наблюдались и в зимний период 1959—1960 гг.

В Сулутинском заповеднике наблюдения были начаты в зимний период 1960/61 гг. Первая снегомерная съемка проведена 10 января 1961 г. К этому времени глубина снежного покрова на поляне и в долине реки достигла 19 см, а плотность снега — 0,16. Максимальная глубина снежного покрова на поляне и в широколиственно-ясеневом насаждении составляла 27 см (с 30. I по 20. II), в широколиственно-кедровом на южном склоне — 21 см, в долинном кедровом — 20 см и в широколиственно-чернопихтовом на северном склоне — 22 см. Наибольшая плотность снега наблюдалась на полянах (0,16—0,27) и в широколиственно-кедровых насаждениях (0,13—0,25), наименьшая — в широколиственно-ясеневом и широколиственно-чернопихтовом (0,11—0,24). Анализ изменения запасов воды в снеге за период с 10. I по 30. III-61 г. показывает, что от начала периода до 28. II происходило накопление снега, а в течение марта — убыль его (табл. 2). В период накопления наименьшие запасы воды в снеге были отмечены в широколиственно-чернопихтовом насаждении на северном и в широколиственно-кедровом — на южном склонах.

Запасы воды в снеге в долинном широколиственно-ясеневом лесу и на поляне в этом лесу мало отличаются; их уменьшение в насаждении связано с задержанием снега на кронах и частично с таянием и испарением с поверхности снежного покрова.

Уменьшение запасов воды в снеге на поляне на южном склоне обусловлено испарением, таянием и сдуванием снега, в долинном кедровом насаждении и широколиственно-чернопихтовом на северном склоне — в основном задержанием части осадков на кронах, а в широколиственно-кедровом насаждении на южном склоне также испарением и таянием снега. Зимняя убыль снега за счет испарения составляет 45 мм [3].



Таблица 2

Места наблюдений	Даты наблюдений в 1961 г.								
	10.I	20.I	30.I	10.II	20.II	28.II	10.III	20.III	30.III
Поляна в долине . . . . .	$\frac{30,6}{100}$	$\frac{32,4}{100}$	$\frac{45,8}{100}$	$\frac{43,2}{100}$	$\frac{43,4}{100}$	$\frac{45,4}{100}$	$\frac{19,3}{100}$	$\frac{11,8}{100}$	$\frac{20,3}{100}$
Поляна на южном склоне . . . . .	$\frac{22,8}{75}$	$\frac{24,8}{77}$	$\frac{33,7}{74}$	$\frac{37,7}{87}$	$\frac{42,7}{96}$	$\frac{39,7}{88}$	$\frac{16,0}{83}$	$\frac{10,0}{85}$	$\frac{20,4}{100}$
Широколиственно-кедровое насаждение в нижней части южного склона крутизной 10°; полнота — 0,8; возраст 100 — 150 лет . . . . .	$\frac{20,8}{68}$	$\frac{23,8}{73}$	$\frac{32,1}{70}$	$\frac{26,7}{62}$	$\frac{33,6}{77}$	$\frac{25,6}{56}$	$\frac{16,0}{83}$	$\frac{12,0}{100}$	$\frac{15,6}{77}$
Долинное кедровое насаждение с густым подростом; полнота — 0,7; возраст 200 — 250 лет . . . . .	$\frac{26,6}{87}$	$\frac{30,0}{93}$	$\frac{37,8}{85}$	$\frac{29,6}{69}$	$\frac{35,0}{81}$	$\frac{32,6}{72}$	$\frac{27,3}{141}$	$\frac{22,3}{189}$	$\frac{23,8}{117}$
Широколиственно-ясеневое насаждение в долине; полнота — 0,7; возраст — 120 лет . . . . .	$\frac{22,0}{72}$	$\frac{26,2}{78}$	$\frac{39,0}{85}$	$\frac{34,4}{80}$	$\frac{43,0}{100}$	$\frac{42,5}{94}$	$\frac{29,8}{154}$	$\frac{20,8}{176}$	$\frac{21,2}{104}$
Широколиственно-кедрово-чернопихтовое насаждение в средней части северного склона крутизной 15°; полнота — 0,8; возраст 150 — 180 лет . . . . .	$\frac{18,2}{60}$	$\frac{18,6}{57}$	$\frac{32,3}{71}$	$\frac{25,7}{60}$	$\frac{32,0}{74}$	$\frac{35,3}{75}$	$\frac{26,0}{135}$	$\frac{24,3}{206}$	$\frac{27,2}{134}$

Примечание. В числителе — запасы воды, мм; в знаменателе — то же, %.

По данным табл. 2 хорошо прослеживаются различия в интенсивности уменьшения запасов воды в снеге (снеготаяние и испарение).

Снежный покров на полянах, в широколиственно-кедровых и широколиственно-ясеневых насаждениях разрушился 10—15 апреля, а в широколиственно-чернопихтовом — 28 апреля.

На основании результатов исследований можно сгруппировать рассмотренные объекты в типичные участки с тем или иным ведущим фактором распределения и накопления снежного покрова.

I тип — участки с «нормальным» [1] снежным покровом:

- 1) поляны в долине реки;
- 2) широколиственно-ясеневые насаждения.

Данная группа характеризуется максимальными запасами воды в снеге, которые увеличиваются от начала зимы до начала снеготаяния, по мере выпадения осадков, и высокой интенсивностью убыли запасов снега во время снеготаяния.

II тип — участки с неустойчивым снежным покровом, для которых уменьшение запасов снега связано с таянием, испарением и сдуванием его:

- 1) лесосеки (поляны) площадью больше 1 га на южных склонах крутизной выше 10°;
- 2) дубняки с полнотой ниже 0,6 на южных склонах крутизной больше 15°.

В этой группе часто в течение зимы выпадающие осадки не компенсируют убыли снега в связи с испарением и таянием его.

III тип — участки с более устойчивым снежным покровом, чем во II типе. Уменьшение запасов снега обусловлено таянием, испарением, а также задержанием части осадков на кронах:

- 1) высокополнотные широколиственно-кедровые насаждения на южных склонах крутизной до 10° (преобладание задержания над таянием и испарением);

2) кедрово-дубовые древостои на южных склонах крутизной выше  $10^\circ$  (преобладание таяния и испарения над задержанием).

IV тип — участки с устойчивым снежным покровом и минимальными запасами воды в снеге, уменьшение которых связано в основном с задержанием части осадков на кронах:

1) широколиственно-кедрово-чернопихтовые насаждения на северном склоне;

2) густые пихтовые молодняки на склонах всех экспозиций.

Для данного типа характерна малая интенсивность снеготаяния и наибольшая продолжительность залегания снежного покрова.

Наши исследования подтверждают выводы других авторов [2], [4], [5], [6], [7] о том, что наибольшие запасы воды в снежном покрове накапливаются на небольших открытых местах в лесу (на полянах, лесосеках и в лиственных насаждениях). Наименьшее количество снега, по нашим данным, наблюдается в чернопихтарниках. Кедровые леса занимают промежуточное положение. Условия рельефа (экспозиция, крутизна склона, высота) оказывают существенное влияние на распределение снега. При переходе от северного склона к южному и с увеличением крутизны склона происходит уменьшение доли хвойных и снижение полноты, в связи с чем влияние условий рельефа возрастает. Поэтому в целях более длительного сохранения устойчивого снежного покрова в лесу на склонах южной экспозиции необходимо проведение мер, направленных на выращивание высокополнотных древостоев с большим участием хвойных пород.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Г. Н. Высоцкий. Учение о влиянии леса на изменение среды его произрастания и на окружающее пространство. Гослесбумиздат, М.-Л., 1950. [2]. Н. Н. Галахов. Снежный покров в лесу. Журн. «Метеорология и гидрология» № 3, 1940. [3]. И. Н. Гарцман. Снежный покров Сихотэ-Алиня. Известия СО АН СССР, Новосибирск, 1958. [4]. А. Д. Дубах. Лес как гидрологический фактор. Гослесбумиздат, М.-Л., 1951. [5]. П. П. Кузьмин. Влияние леса на снеготаяние. Труды ГГИ, вып. 42 (96), 1954. [6]. Н. И. Костюкевич. О снежном покрове в лесах БССР. Сборник научных трудов. Изд. АН БССР, Минск, 1952. [7]. А. А. Молчанов. Сосновый лес и влага. Изд. АН СССР, М., 1953.

Поступила в редакцию  
9 июня 1962 г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКУЩЕГО ПРИРОСТА НАСАЖДЕНИЙ В ЛИТОВСКОЙ ССР

**В. АНТАНАЙТИС**

Кандидат сельскохозяйственных наук

(Литовская сельскохозяйственная академия)

**Т. БИТВИНСКАС**

Инженер

(Литовский «Леспроект»)

До сих пор лесоустроители Советского Союза определяли только средний прирост насаждений, который является лишь арифметической величиной. Он в какой-то мере характеризует состояние лесов, но не показывает действительного их прироста. Поэтому в печати и на совещаниях все чаще раздаются голоса, требующие, чтобы лесоводы, и в первую очередь лесоустроители, начали определять текущий прирост насаждений, который является наилучшим показателем эффективности хозяйственной деятельности.

В Литве до 1958 г. вычисляли в основном средний прирост. Правда, в период с 1931 г. по 1940 г. делали попытки определять суммарный текущий прирост лесов Литвы [2], [3]. Однако натурных работ тогда не проводили, прирост находили камеральным путем, используя для этого сводные данные таблицы классов возраста (как разность запасов в смежных классах возраста), то есть вычисляли так называемый чистый прирост, который в литературе имеет и другие названия (текущее изменение запаса, таксационный прирост, действительный или реальный прирост). К нему прибавляли среднее значение величины промежуточного пользования и получали неполный текущий прирост, так как в этом случае не учитывали неиспользуемый естественный отпад.

По данным того времени, чистый прирост лесов Литвы равнялся  $3,2 \text{ м}^3$  на 1 га, неполный текущий —  $4,1 \text{ м}^3$  [3].

В 1958 г. в Литве начались повторные лесоустроительные работы. Стремясь содействовать интенсификации лесного хозяйства республики, лесоустроители начали внедрять перечислительную и измерительную таксацию леса, исследовать и картировать лесные почвы, проектировать добровольно-выборочные рубки, изучать текущий прирост насаждений.

Работа по изучению текущего прироста насаждений проводится Литовской конторой «Леспроект» в содружестве с кафедрой экономики и организации лесного хозяйства Литовской сельскохозяйственной академии. Изучается полный текущий прирост, который М. Л. Дворецкий предлагает называть «текущим приростом по запасу наличного древо-стоя».

Цель работы — собрать данные, которые

1) позволяют судить о текущем приросте обследованных таксационных участков с точностью  $\pm 6-15\%$  (в зависимости от принятого метода);

2) дают возможность составить таблицы процентов текущих приростов, учитывая все его решающие факторы;

3) позволяют найти суммарный текущий прирост насаждений в каждом устраиваемом объекте;

4) дают возможность использовать эти данные при разработке лесо-строительных проектов;

5) позволяют уточнить некоторые вопросы методики определения текущего прироста насаждений.

За период 1958—1961 гг. собран следующий материал.

1. Заложены 53 постоянные пробные площади.

2. Изучены 384 временные пробные площади с 5645 модельными деревьями. На этих пробах буравом определен прирост у 20100 деревьев.

3. Упрощенным способом (при помощи приростных буравов) определен текущий прирост 3023 насаждений и взяты пробы у 98400 деревьев.

4. Камеральным путем текущий прирост всех насаждений вычислен в 41 лесхозе (из общего числа 50).

В результате проведенной работы установлено, что текущий прирост наиболее распространенных насаждений в Литовской ССР колеблется от 3 до 10 м<sup>3</sup> на 1 га (в среднем около 5 м<sup>3</sup>).

Определение текущего прироста насаждений — довольно трудоемкая работа. Поэтому его находили лишь в характерных насаждениях, для всех встречающихся пород, возрастов, бонитетов, условий местопроизрастания и полнот. Кроме того, его определяли в насаждениях, где необходимо установить эффективность осушения и размер пользования при проектировании добровольно-выборочных рубок.

Полученные данные упрощенной таксации прироста (без срубki моделей) и данные пробных площадей со срубкой деревьев использовали для составления таблиц процентов текущего прироста.

Текущий прирост, найденный по этим таблицам, заносят в таксационное описание, для чего в последнее введены три дополнительные графы: процент текущего прироста; текущий прирост на 1 га; текущий прирост на всем участке.

Процент текущего прироста берут по натурным данным или из таблиц. Прирост отдельного насаждения вычисляют по общеизвестной формуле

$$z = \frac{M \cdot P}{100},$$

где  $z$  — текущий прирост;

$M$  — запас насаждения;

$P$  — процент текущего прироста.

Изучая текущий прирост в течение ряда лет, мы убедились, что для получения данных о нем в более крупном объекте (лесной массив, лесхоз, лесничество) описанный способ является вполне пригодным. При наличии надежных местных процентных таблиц приростов установление текущего прироста в натуре оправдывает себя лишь в тех случаях, когда необходимо знать эффективность лесохозяйственных мероприятий или уточнить размер пользования при добровольно-выборочных рубках. Однако при этом необходимо учитывать закономерности текущего прироста, зависящие от климатических факторов.

В результате проведенной работы пришли к следующим выводам.

1. Текущий прирост отдельных насаждений периодически увеличивается и уменьшается, что особенно зависит от влияния климатических факторов.

2. Устанавливая эффективность хозяйственных мероприятий и оценивая пагубное действие различных вредителей в лесу, нужно обязательно учитывать периодическое изменение текущего прироста, который в этом случае необходимо определять за возможно короткий период времени (1—5 лет).

3. Если нужно иметь средние данные текущего прироста одинаковых в таксационном отношении насаждений (например, при создании таблиц текущего прироста), то его следует учитывать не менее, как за 10 последних лет.

4. Исследование изменений текущего прироста и выявление плохих и хороших периодов роста дает возможность сделать прогноз текущих приростов на следующее десятилетие.

5. Без определения степени зависимости текущего прироста от климатических факторов нельзя сделать достоверных выводов в исследованиях, связанных с текущим приростом.

При изучении влияния климатических факторов в Литовской ССР основным материалом явились упомянутые пробные площади, на которых ширину годичного слоя определяли буровом. На каждой пробе производили от 25 до 100 бурений до сердцевины дерева. Устанавливали годичный текущий прирост за наиболее продолжительный период времени — за 30—50—100—150 лет. Из полученных данных составляли графики как для отдельных деревьев, так и для древостоев. Данные группировали по древесным породам, классам бонитета, типам леса, затем по районам и обобщали для всей республики.

По данным текущего прироста нескольких последних десятилетий выявляли его колебания. Как пример приводим график (рис. 1), на котором показаны колебания ширины годичного слоя в сосняках чернично-кисличных. Многолетняя средняя ширина годичного слоя приравнена к 100%.

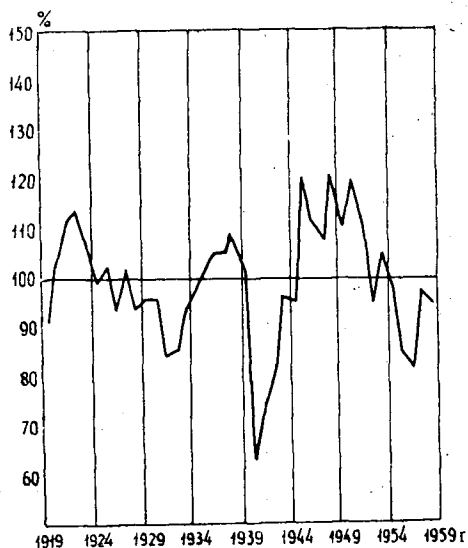


Рис. 1.

В некоторых других типах местопроизрастания (например, сфагновых сосняках) колебания ширины годичного слоя достигают гораздо больших размеров. Поэтому при установлении эффективности хозяйственных мероприятий текущий прирост нужно устанавливать по данным возможно меньшего периода. В связи с этим возникает необходимость в таких случаях применять более точные измерительные приборы. Мы для этой цели успешно используем бинокулярный микроскоп МБС-1, при помощи которого можно измерить ширину годичного слоя с точностью 0,1 мм.

Нам не удалось установить, который из климатических факторов имеет решающее значение в периодической изменчивости ширины годичного слоя. Однако известна значительная связь между шириной годичного слоя и средними годовыми температурами.

Уместно отметить, что подобную работу в Латвийской ССР проводит А. И. Звиедрис [1]. Данные получаются примерно одинаковыми, что можно объяснить схожими климатическими условиями республик.

Наличие данных о текущем приросте насаждений позволяет полнее решить следующие вопросы:

- 1) определить размер пользования;
- 2) установить направление, в котором изменяется производительность лесов в устраиваемом объекте;
- 3) дополнить характеристику лесного фонда объекта данными о действительном приросте лесов;
- 4) уточнить учет лесных ресурсов и установить фактическую величину части насаждения, выбираемой до главной рубки;
- 5) судить об эффективности хозяйственных мероприятий;
- 6) проектировать лесокультурные и лесохозяйственные мероприятия при наибольшем соответствии пород занимаемым ими почвам;
- 7) сравнивать прирост наших лесов и лесов зарубежных стран.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. А. И. Звиедрис. Определение текущего прироста насаждений. Труды института лесохозяйственных проблем и химии древесины АН Латвийской ССР, XXII. Рига, 1961. [2]. j. Vilôinskâs. Medienos prieauglis Lietuvos valstybinuose miskuose (Прирост древесины в государственных лесах Литвы). «Mûsu, girios» Nr. 5. 1931. [3]. Lietuvos misku statistika (Статистика лесов Литвы), 1937.

Поступила в редакцию  
29 сентября 1962 г.

## ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИПЫ В ЖИГУЛЯХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ НАСАЖДЕНИЙ

А. М. КРАСНИТСКИЙ

Кандидат сельскохозяйственных наук

(Центрально-черноземный государственный заповедник)

Одной из самых распространенных пород в Жигулях является липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.). В Жигулевском лесхозе (Куйбышевская область) на ее долю приходится 10290 га (36% всей площади). Между тем, совершенно недостаточно изучены, например, внутривидовое разнообразие, экологические и фенологические формы этой породы, без учета которых лесное хозяйство не может правильно решать многие производственные вопросы.

В связи с этим мы решили сообщить о своих наблюдениях над фенологией липы в Жигулях\* и вместе с этим подчеркнуть практическое значение отмеченных явлений и высказать соображения о наиболее целесообразном, на наш взгляд, режиме хозяйства в липняках Жигулевского лесхоза.

В Жигулях липа произрастает обычно на перегнойно-карбонатных почвах склонов гор, а также на суглинистых почвах днищ древних долин, оврагов и плато, подстилаемых делювием. Производительность насаждений липы обычно не превышает III класса бонитета.

Наши наблюдения показали, что липа, произрастающая на северных склонах гор, значительно раньше распускает листья и цветет, чем липа, располагающаяся на днищах долин и оврагов. Сроки наступления этих фенофаз представлены в табл. 1.

Таблица 1

Годы наблюдений	Места наблюдений	Сроки наступления фенофаз					
		набухание почек	распускание почек	полное облиствение	начало цветения	массовое цветение	окончание цветения
1960	Склоны гор	13.V	6.V	18.V	2.VII	7.VII	14.VII
	Днища оврагов	14.V	19.V	29.V	12.VII	17.VII	24.VII
1961	Склоны гор	24.IV	10.V	16.V	28.VI	3.VII	9.VII
	Днища оврагов	6.V	17.V	23.V	5.VII	8.VII	17.VII

\* Работа выполнена в бывшем Жигулевском государственном заповеднике в 1960 — 1961 гг.

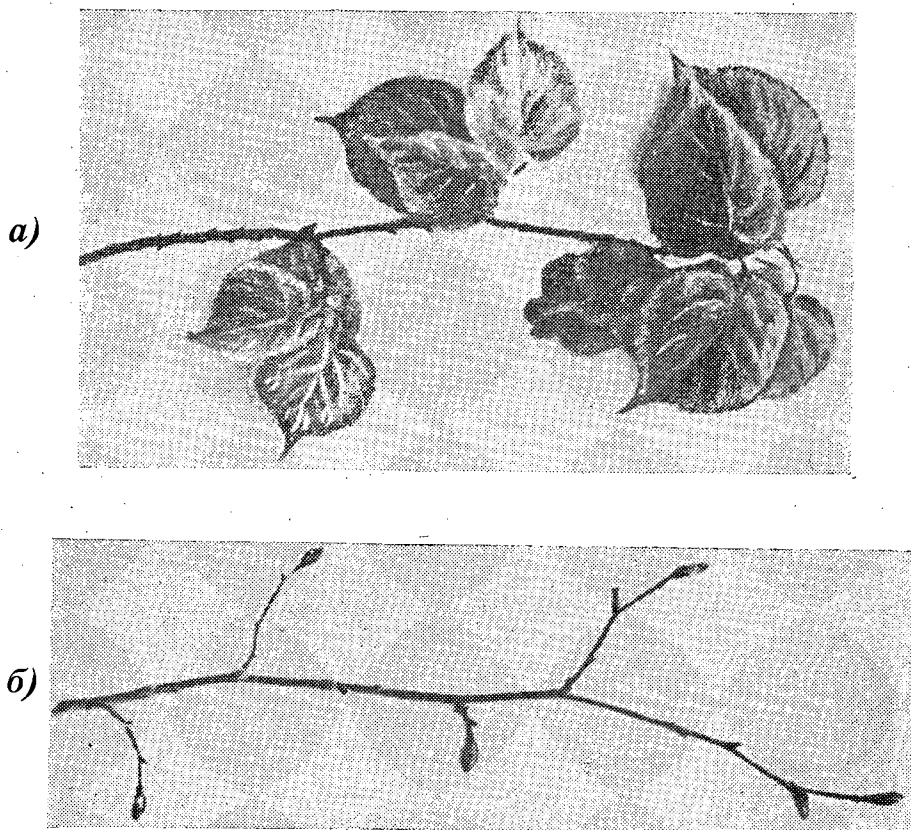


Рис. 1. Состояние побегов липы 19 мая:  
а — раннего; б — позднего листопада.

Максимальное различие в наступлении фенофаз (31 день) отмечалось при набухании почек в 1960 г. (рис. 1). В дальнейшем это различие нивелировалось и к окончанию цветения составляло от 7 до 9 дней. Цветение липы в каждой группе длилось 12 дней, период наложения фенофаз равнялся 3—4 дням; общая продолжительность цветения — 22 дням.

Различия в фенологии липы за два года наблюдений объясняются погодными условиями. Апрель 1961 г. отличался неустойчивыми температурами. Во второй декаде температура была почти вдвое ниже, чем в первой и в среднем за месяц. Поэтому у липы с ранней фенологией на склонах гор набухание почек началось на 11 дней, а распускание — на 4 дня позже, чем в 1960 г. В третьей декаде апреля 1961 г. наблюдалось резкое потепление, май был очень теплым, а июнь и первая половина июля — жаркими. Осадки выпадали редко и в небольших количествах. В результате этого все остальные фенофазы наступили раньше, чем в 1960 г., а различия между липой в горах и оврагах были меньше (на 3 дня). Отмеченные фенологические различия являются постоянными. Это подтверждается, помимо приведенных нами данных, сообщением В. И. Покаева [5] и свидетельствами местных жителей — пчеловодов, которые по срокам липового взятка различают липу «горовую» (береговую) и «овражную».

Вопрос о фенологических формах липы почти не освещен в специальной литературе, если не считать беглой ссылки А. В. Альбенско-



го. [1] на данные И. М. Мукало о существовании ранней и поздней форм, статьи И. С. Молюкало [4], а также А. Ф. Губина [3], констатировавшего 10—15-дневные различия в сроках цветения липы в пределах сравнительно небольшого района Башкирской АССР. Оставляя пока открытым вопрос о фенологических формах липы как о предмете специального исследования и сообщения, укажем лишь на его разностороннюю важность для лесоразведения, зеленого строительства, селекционных работ и др. Разносрочность цветения липы открывает значительные перспективы для пчеловодства, интересы которого должны находиться в поле зрения лесоводов.

Во время цветения липы в Жигулях другие медоносы не оказывают заметного влияния на медосбор. Поэтому напряженность цветения липы с высокой степенью точности может характеризоваться ходом медосбора. При этом, безусловно, необходимо учитывать состояние погоды, влияющей на работоспособность пчел и на выделение нектара растением.

С учетом этого мы использовали в 1960 г. улей, выставленный под навесом на весы в качестве контрольного для характеристики хода взятка липового меда. Улей взвешивали ежедневно в 7 и 19 часов. Данные наблюдений представлены на рис. 2. На графике можно видеть три максимума медосбора.

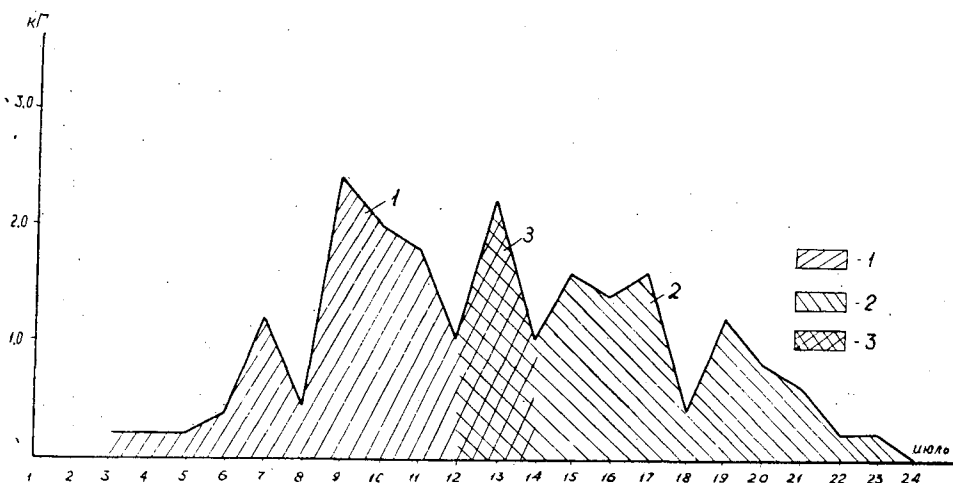


Рис. 2. Динамика медосбора с липы: 1 — раннего цветения; 2 — позднего цветения; 3 — раннего и позднего цветения.

Раннецветущая липа дала 42% взятка, а позднецветущая — 38%. На период перекрытия фазы приходится 20% медосбора.

На графике видно резкое падение медосбора 8 и 18 июля. 8 июля наблюдался сильный дождь, препятствовавший работе пчел, а 18 июля отмечена наивысшая температура воздуха, по-видимому, отрицательно сказавшаяся на нектаровыделении липы.

Из представленных данных следует, что период взятка и валовой медосбор в результате двусрочности цветения липы был удвоен. Кроме того, микроклимат Жигулей весьма полезен для нектаровыделения, так как отличается большим количеством жарких солнечных дней и прохладными ночами. По данным М. М. Глухова [2], высокие дневные температуры и солнечная погода обеспечивают интенсивный процесс сахарообразования, а прохладные ночи способствуют накоплению сахаров в нектаре, а не использованию их на ростовые процессы.

Все это позволяет говорить о том, что район Жигулей по распространению липы и ее биологическим особенностям в сочетании с климатическими условиями следует отнести к числу аномально-перспективнейших для пчеловодства.

В прошлом веке в Жигулях практиковали сбор меда дикой пчелы. Было развито и пчеловодство. Однако нынешнее его состояние в Жигулях оставляет желать лучшего. Так, по проведенному нами учету число пчелиных семей на пасеках не превышает 900 ульев на сопоставимой площади (50 лет назад — 3,3 тыс.). Резкое снижение уровня развития пчеловодства объясняется прежде всего несогласованностью его интересов с режимом лесного хозяйства. Жигулевский лесхоз в планах хозяйства руководствуется преимущественно интересами лесопользования, что нельзя признать правильным. Например, рубка липы определяется количественной спелостью насаждений в возрасте 51—60 лет с расчетом на порослевое возобновление. Поскольку липа цветет с 30-летнего возраста, то насаждения до рубки не успевают достигнуть наивысшей степени нектароношения, а липняки старше 60 лет относят к категории перестойных и вырубают. Естественно, что при таком режиме хозяйства возникают недолговечные порослевые насаждения липы со слабым нектароношением, которые не могут служить прочной базой для развития пчеловодства.

О том, насколько это нецелесообразно, говорят следующие расчеты. В Жигулях средний прирост липняков составляет  $3,1 \text{ м}^3/\text{га}$ . Если считать всю эту древесину пиловочником I сорта, то он стоит 12 р. 71 к. (практически выход пиловочника на местном Бахилловском лесопункте не превышает 10—15%).

В то же время пасека Ставропольского городского отделения общества охраны природы, расположенная в урочище «Крольчатник», в среднем за пять лет дала 26,4 кг в год товарного липового меда на один улей. Известно что 1 га липовых насаждений [2] устойчивого цветения обеспечивает нектаром 3,5 пчелиные семьи. Нетрудно подсчитать, что при закупочной цене на мед 1 р. 80 к. за 1 кг, оценка медопродуктивности 1 га липы достигает 166 р. 32 к. за год, то есть почти в 13 раз выше, чем стоимость  $3,1 \text{ м}^3$  пиловочника.

В связи с этим интересы резкого повышения экономической эффективности леса требуют незамедлительного изменения принятого режима хозяйства в Жигулевском лесхозе. Мы предлагаем замену сплошнолесосечных рубок в липовых насаждениях добровольно-выборочными по типу и принципу, рекомендуемым П. Н. Ушатиным [6]. Такие рубки обеспечат постепенную замену недолговечных порослевых липняков семенными, разновозрастными насаждениями с устойчивым максимальным нектароношением. При этом условии совершенно не будет липовых молодняков без нектароношения.

Предлагаемая система рубок не только не противоречит интересам лесопользования, но и будет способствовать наиболее рациональному использованию древесины. Малопрочная, легкообрабатываемая, хорошо колющаяся древесина липы приобретает ценность лишь при использовании ее в ряде специфических производств: для изготовления чертежных досок, фанеры, кадок, токарных изделий, резьбы, ипрушек, мебели и пр. Для всех этих производств нужна преимущественно крупномерная и высококачественная древесина. Естественно, что в порослевых низкоствольниках III класса бонитета с 60-летним оборотом рубки такая древесина получена быть не может. В Жигулевском лесхозе, например, выход деловой древесины, по данным местного леспромхоза, не превышает 40% и липу используют, как правило, на дрова.

При добровольно-выборочных рубках обеспечивается выращивание крупномерного пиловочника ценной липовой древесины. Предлагаемое хозяйство следует назвать не мягколиственным липовым, а хозяйством на нектар и крупномерный липовый пиловочник. В таком хозяйстве экономическая эффективность липняков, с учетом их нектароносной способности, должна возрасти не менее чем в 10—20 раз по сравнению с существующей.

В материалах лесоустройства Жигулевского лесхоза, выполненного в 1959 г., высказанные соображения не учтены. Независимо от этого уже теперь следует внести предлагаемые коррективы в план хозяйства как направленные на повышение продуктивности насаждений и подъем сельскохозяйственного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. В. Альбенский. Селекция древесных пород и семеноводство. М.-Л., 1959. [2]. М. М. Глухов. Важнейшие медоносные растения и способы их разведения. М., 1950. [3]. А. Ф. Губин. О медоносности липы. Журн. «Пчеловодство» № 6, 1936. [4]. И. С. Молукало. Две формы липы мелколистной. Журн. «Лесное хозяйство» № 11, 1950. [5]. В. И. Покаев. Термические аномалии в долинах Жигулевских гор. Журн. «Природа» № 11, 1955. [6]. П. Н. Ушатин. Добровольно-выборочные рубки в сосновом хозяйстве учебно-опытного лесхоза ВЛТИ. Научные записки Воронежского лесотехнического института, т. XV, Воронеж, 1956.

Поступила в редакцию  
14 сентября 1962 г.

О СЕМЕННИКАХ ЕЛИ НА СПЛОШНЫХ ВЫРУБКАХ

Г. В. МЯКОТИНА

Старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук  
(ВСНИПИЛесдрев)

При оставлении семенных куртин ель часто вываливается. Многочисленные наблюдения показывают, что наиболее ветроустойчив тонкомер ели. Это хорошо видно на объектах массового ветровала в 1947 г. в Тихвинском лесхозе Ленинградской области и в Ачинском лесхозе Красноярского края. В обоих случаях ветровал наблюдался в смешанных елово-лиственничных недорубах состава 8Е1С1Б на вырубках долгомошного типа с сильноподзолистой тяжелосуглинистой, избыточно увлажненной почвой. Результаты учета ветровальных и буреломных деревьев ели приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Диаметры, см	Пробная площадь № 1		Пробная площадь № 2		Пробная площадь № 3		Пробная площадь № 4		Пробная площадь № 5	
	всего деревьев	ветровал и бурелом	всего деревьев	ветровал и бурелом	всего деревьев	ветровал и бурелом	всего деревьев	ветровал и бурелом	всего деревьев	ветровал и бурелом
4	41	—	18	—	15	—	11	—	9	—
8	17	1	15	2	21	2	17	1	11	—
12	20	3	49	6	28	3	43	4	23	1
16	17	2	18	2	9	1	10	1	15	2
20	21	12	26	16	7	3	8	4	21	15
24	11	10	—	—	2	2	2	2	7	6
28	9	9	7	7	—	—	—	—	2	2
32	2	2	1	1	—	—	3	2	1	1
Всего	138	39	134	34	72	11	96	14	89	27

Из табл. 1 видно, что процент вывалившихся и буреломных деревьев на всех пробных площадях повышался с увеличением диаметра.

При этом в тонкомерных ступенях повреждения в значительной мере связаны с падением крупномерных деревьев.

Приведенные данные, а также наблюдения за сохранностью еловых куртин, позволяют с уверенностью сказать, что при тщательном отборе тонкомера и надлежащей его охране от ошмыгов, поломки вершин и т. д. при лесозэксплуатации процент ветровальных и буреломных деревьев будет еще ниже. Практически можно ориентироваться на полное сохранение елового тонкомера.

Сказанное наглядно иллюстрируется данными табл. 2.

Таблица 2

№ пробной площади	Число тонкомерных деревьев			
	общее	усохших или усыхающих		
		всего	из числа поврежденных при лесоэксплуатации	из числа внешне здоровых
1	81	10	10	—
2	57	20	18	2
3	35	16	16	—
4	30	12	10	2
5	55	18	15	3

Но правильна ли ориентация на сохранение всего тонкомера?

Хорошо известно, что под пологом леса, наряду с жизнеспособным подростом и молодняком, встречается много угнетенного, который тотчас после рубки древостоя засыхает, ухудшая тем самым санитарную обстановку на вырубках и увеличивая пожарную опасность. Поэтому необходимо оставлять только жизнеспособный тонкомер и прежде всего групповой. В табл. 3 показано, насколько тонкомер ели способен обеспечить вырубку семенами.

Таблица 3

№ пробной площади	Возраст рубки, лет	Количество тонкомера, шт.		Среднее количество шишек на одно плодоносящее дерево, шт.	Количество семян, тыс. шт.	
		общее	плодоносящих		на одно плодоносящее дерево	на 1 га
1	5	74	26	21	3,1	34,5
2	5	74	24	27	3,8	75,5
3	5	59	21	30	1,5	31,5
4	9	66	38	48	3,0	114,0
5	9	42	34	38	3,9	164,0

Из приведенных данных (табл. 3) видно, что общее количество плодоносящего тонкомера, а также шишек и семян, на всех пробных площадях значительно. К этому необходимо добавить, что обследованный тонкомер был случайным, оставшимся после вывала елового древостоя. При направленном отборе молодняков в момент рубки лесосечного фонда получились бы еще более удовлетворительные результаты.

С увеличением диаметра относительное количество плодоносящих экземпляров и степень плодоношения ели увеличивались, что можно видеть из данных табл. 4.

Таблица 4

Диаметр, см	Общее количество деревьев	Количество плодоносящих деревьев	Число шишек		Лабораторная всхожесть семян, %
			общее	среднее на одно плодоносящее дерево	
6	44	3	9	3	85,0
8	70	20	360	18	84,5
10	84	49	1176	24	83,7
12	146	146	5088	28	82,0
16	61	61	2257	37	81,0
20	33	33	1947	59	84,0
24	1	2	148	74	86,0

Семенные куртины и кулисы из крупномерной ели, которые в настоящее время оставляют в производстве, плодоносят в полной мере на вырубках лишь в том случае, если рубка насаждения проведена под семенной год. В противном случае такие обсеменители полностью могут обеспечить вырубку семенами только через несколько лет, когда она уже покрыта лиственными породами. В то же время самосев ели имеет замедленный рост, если нет защиты лиственных.

При наличии куртин молодняка последующее возобновление ели происходит всегда под пологом лиственных пород. Потери во времени, необходимом для обеспечения вырубки семенами, в этом случае в некоторой мере вознаграждаются усиленным приростом ели под защитой лиственных.

Наблюдения, проведенные в Ленинградской области и Красноярском крае, показывают, что значительная часть современных ельников обязана происхождением крупному подросту и молоднякам, оставленным при лесозэксплуатации. Еловые молодняки оказались здесь не только достаточно ветроустойчивыми, создавшими хорошие насаждения, но и надежными источниками семян для последующего лесовозобновления.

Приведенные данные позволяют сделать вывод о том, что оставление тонкомера ели в качестве семенников является вполне реальной и обоснованной мерой, которую следует использовать в лесохозяйственной практике.

---

Поступила в редакцию  
29 августа 1962 г.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОВЕСА НЕСУЩЕГО КАНАТА  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОБСТВЕННОГО ВЕСА  
И СОСРЕДОТОЧЕННОГО ГРУЗА С УЧЕТОМ ВЕРТИКАЛЬНОЙ  
И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ УСИЛИЙ  
ТЯГОВОГО КАНАТА \*

В. А. ТУЛАТОВ

Аспирант

(Центральный НИИ механизации и энергетики лесной промышленности)

В известной формуле провеса каната от собственного веса и сосредоточенного груза не учитываются вертикальная и горизонтальная составляющие усилия тягового каната. Д. А. Абрамов [1] принимает равными углы наклона тягового каната и хорды пролета к горизонтали, то есть не учитывает провес. В многопролетных воздушно-трелевочных установках с промежуточными опорами при больших расстояниях трелевки, а также в однопролетных установках при значительных длинах пролетов тяговый канат провисает под действием собственного веса тем больше, чем дальше находится каретка от стопора.

С учетом вертикальной и горизонтальной составляющих усилий тягового каната определим провес несущего каната ВТУ в пролете АВ (рис. 1) под действием собственного веса  $q_0$ , кг/м, сосредоточенного груза  $Q$ , вертикальной  $V_T$  и горизонтальной  $H_T$  составляющих усилий тягового каната. Как видно из рис. 1, горизонтальные составляющие  $H_A$  и  $H_B$  не равны между собой, то есть  $H_B = H_A + H_T$ .

Определим реакции опор  $V_A$  и  $V_B$ , для чего напишем уравнения моментов всех сил относительно точек А и В.

$$\left. \begin{aligned} \Sigma M_A &= V_B \cdot l + H_B \cdot h - H_T (f_x + x \operatorname{tg} \beta) - Qx - V_T x - \\ &\quad - \frac{q_0 l^2}{2 \cos \beta} = 0; \\ \Sigma M_B &= V_A \cdot l - H_A \cdot h + H_T (f_x + x \operatorname{tg} \beta - h) - Q(l - x) - \\ &\quad - V_T (l - x) - \frac{q_0 l^2}{2 \cos \beta} = 0; \\ V_B &= \frac{q_0 l}{2 \cos \beta} - H_B \operatorname{tg} \beta + \frac{H_T (f_x + x \operatorname{tg} \beta)}{l} + Q \frac{x}{l} + V_T \frac{x}{l}; \\ V_A &= \frac{q_0 l}{2 \cos \beta} + H_A \operatorname{tg} \beta - \frac{H_T (f_x + x \operatorname{tg} \beta - h)}{l} + Q \frac{(l - x)}{l} + V_T \frac{(l - x)}{l}. \end{aligned} \right\} (1)$$

\* Статья содержит теоретический расчет. Экспериментальные данные публикуются в другом издании.

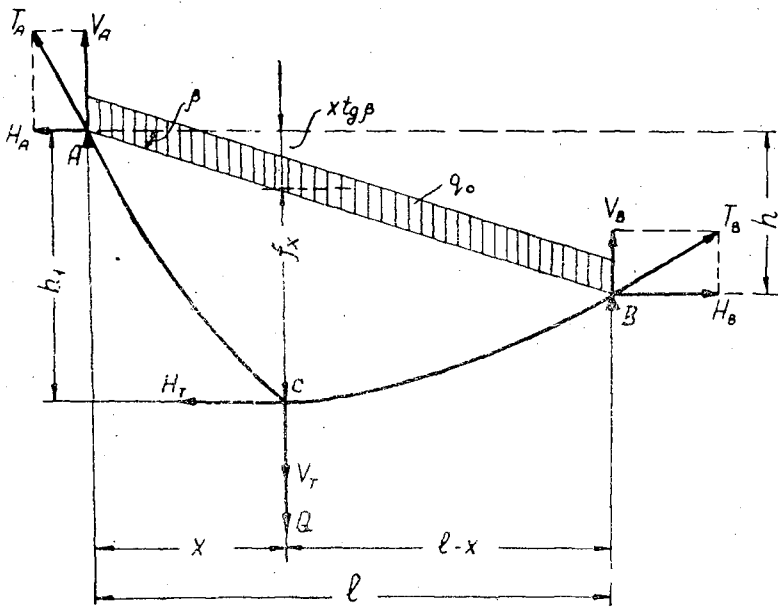


Рис. 1.

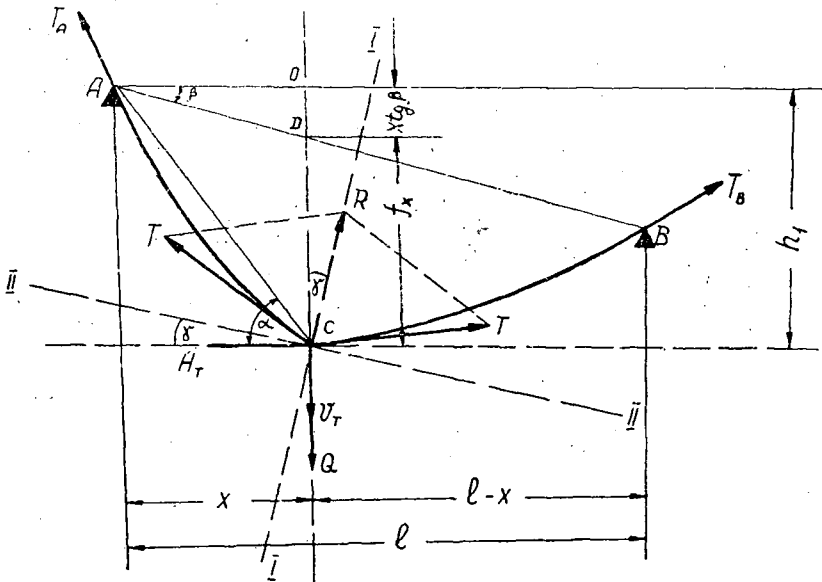


Рис. 2.

Для определения провеса несущего каната  $f_x$  составим уравнение моментов относительно точки  $C$  для сил, расположенных слева от нее,

$$\Sigma M_C = V_A \cdot x - H_A (f_x + x \operatorname{tg} \beta) - \frac{q_0 x^2}{2 \cos \beta} = 0.$$

Подставляя в данное выражение найденное значение  $V_A$ , имеем



$$\left[ \frac{q_0 \cdot l}{2 \cos \beta} + H_A \operatorname{tg} \beta - \frac{H_T (f_x + x \operatorname{tg} \beta - h)}{l} + Q \frac{(l-x)}{l} + V_T \frac{(l-x)}{l} \right] x - H_A (f_x + x \operatorname{tg} \beta) - \frac{q_0 x^2}{2 \cos \beta} = 0.$$

После соответствующих преобразований получим

$$f_x = \left( \frac{q_0}{2 \cos \beta} + \frac{Q}{l} + \frac{V_T}{l} + \frac{H_T \operatorname{tg} \beta}{l} \right) \frac{x(l-x)}{H_A + \frac{H_T x}{l}}. \quad (2)$$

В это выражение входят вертикальная и горизонтальная составляющие усилия тягового каната. Для определения их на рис. 2 введем следующие обозначения:

$R$  — равнодействующая натяжений несущего каната слева и справа от каретки;

$\gamma$  — угол, составленный направлением  $\Pi-\Pi$ , перпендикулярным равнодействующей  $R$ , с горизонталью;

$\psi$  — угол наклона тягового каната в каретке;

$F_T$  — усилие тягового каната.

Рассмотрим случай, когда углы  $\gamma$  и  $\psi$  не равны.

Под действием сосредоточенного груза  $Q$  несущий канат в пролете  $AB$  (рис. 2) примет форму двух парабол, пересекающихся в точке приложения сосредоточенного груза  $C$ . Если пренебречь сопротивлением от трения в катках каретки, то натяжение несущего каната  $T$  слева и справа от точки  $C$  будет одинаково, так как давление роликов каретки нормально к оси каната. Равнодействующая этих натяжений  $R$  будет направлена по оси  $I-I$ , делящей пополам угол между натяжениями слева и справа от точки  $C$ .

Под действием сосредоточенного груза  $Q$ , равнодействующей натяжений несущего каната  $R$  и усилия в тяговом канате  $F_T$  вся система сил находится в равновесии.

Для нахождения неизвестных величин  $H_T$ ,  $V_T$  и  $R$  спроектируем всю систему сил на оси  $x$  и  $y$  (рис. 2).

$$\Sigma x = 0; \quad H_T - R \cos(90 - \gamma) = 0; \quad (3)$$

$$\Sigma y = 0; \quad Q + V_T - R \cos \gamma = 0. \quad (4)$$

Для определения неизвестных величин недостаточно полученных двух уравнений, поэтому дополнительно рассмотрим равновесие тягового каната на участке  $AC$  пролета  $AB$  (рис. 3).

$$\Sigma M_A = 0; \quad \Sigma M_A = V_T x + H_T h_1 - \frac{q_T x^2}{2 \cos \alpha} = 0, \quad (5)$$

где  $q_T$  — собственный вес тягового каната,  $\kappa\Gamma/\text{м}$ ;

$h_1$  — разность отметок каретки с грузом и блока для подвески тягового каната;

$\alpha$  — угол между хордой  $AC$ , соединяющей места крепления тягового каната, и горизонталью.

Решая систему трёх уравнений с тремя неизвестными, получим

$$V_T = \frac{\frac{q_T \cdot x \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{2 \cos \alpha} - Q \frac{h_1}{x}}{\operatorname{ctg} \gamma + \frac{h_1}{x}}; \quad (6)$$

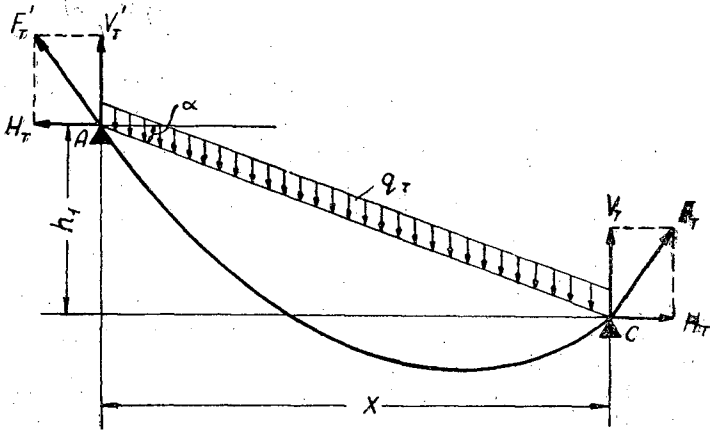


Рис. 3.

$$H_T = \frac{q_T \cdot x}{2 \cos \alpha} + Q; \quad (7)$$

$$\text{ctg } \gamma + \frac{h_1}{x};$$

$$R = \frac{\frac{q_T \cdot x}{2 \cos \alpha} + Q}{\left(\text{ctg } \gamma + \frac{h_1}{x}\right) \sin \gamma} \quad (8)$$

Величину хорды AC можно определить из треугольника ACO (рис. 2)

$$AC = \sqrt{x^2 + (f_x + x \text{tg } \beta)^2} = \sqrt{\frac{x^2}{\cos^2 \beta} + 2f_x \cdot x \cdot \text{tg } \beta + f_x^2}. \quad (9)$$

Преобразуем выражение (9) следующим образом:

$$AC = \frac{\sqrt{\frac{x^2}{\cos^2 \beta} + 2f_x x \text{tg } \beta} \cdot \sqrt{\frac{x^2}{\cos^2 \beta} + 2f_x x \text{tg } \beta}}{\sqrt{\frac{x^2}{\cos^2 \beta} + 2f_x \cdot x \cdot \text{tg } \beta}} =$$

$$= \frac{x}{\cos \beta} \sqrt{1 + \frac{2f_x \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}{x}} \cdot \sqrt{1 + \frac{f_x^2}{\frac{x^2}{\cos^2 \beta} + 2f_x x \cdot \text{tg } \beta}} \quad (10)$$

Так как провесы несущего каната ВТУ являются малыми величинами по сравнению с самими пролетами, то радикалы, входящие в выражение (10), можно упростить, отбрасывая при их разложении величины высшего порядка малости. Используем известные формулы разложения радикалов в ряд

$$\sqrt{1 + \delta_1} \cdot \sqrt{1 + \delta_2} = \left(1 + \frac{1}{2} \delta_1 - \frac{1}{8} \delta_1^2 + \dots\right) \left(1 + \frac{1}{2} \delta_2 - \frac{1}{8} \delta_2^2 + \dots\right) =$$

$$= 1 + \frac{1}{2} \delta_1 + \frac{1}{2} \delta_2 - \frac{1}{8} \delta_1^2 - \frac{1}{8} \delta_2^2 + \frac{1}{4} \delta_1 \delta_2. \quad (11)$$

В выражении (11) сохранены лишь величины до второго порядка малости включительно. Из выражения (10) видно, что вторые члены, стоящие под радикалами, являются величинами разного порядка. Учитывая это, необходимо обозначить

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \frac{2f_x \sin \beta \cos \beta}{x}; \\ \delta_2 &= \frac{f_x^2}{\frac{x^2}{\cos^2 \beta} + 2f_x x \operatorname{tg} \beta} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

или для сохранения величин до второго порядка малости включительно необходимо считать

$$\delta_2 \approx \frac{f_x^2 \cos^2 \beta}{x^2}$$

Учитывая это, из выражения (10) можем получить приближенное выражение для  $AC$

$$AC \approx \frac{x}{\cos \beta} + f_x \sin \beta + \frac{f_x^2 \cos^3 \beta}{2x}. \quad (13)$$

Из треугольника  $ACO$  (рис. 2) имеем

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{x}{AC} = \frac{x}{\frac{x}{\cos \beta} + f_x \sin \beta + \frac{f_x^2 \cos^3 \beta}{2x}} = \\ &= \frac{x}{\cos \beta} \cdot \frac{1}{1 + \frac{f_x \sin \beta \cdot \cos \beta}{x} + \frac{f_x^2 \cos^4 \beta}{2x^2}} \approx \cos \beta. \end{aligned} \quad (14)$$

Отношение  $\frac{h_1}{x} = \operatorname{tg} \alpha$  или, учитывая выражение (14),  $\frac{h_1}{x} \approx \operatorname{tg} \beta$ , тогда формулы (6), (7) и (8) примут вид

$$V_T = \frac{\frac{q_T x \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{2 \cos \beta} - Q \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{tg} \beta}; \quad (15)$$

$$H_T = \frac{\frac{q_T x}{2 \cos \beta} + Q}{\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{tg} \beta}; \quad (16)$$

$$R = \frac{\frac{q_T \cdot x}{2 \cos \beta} + Q}{(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{tg} \beta) \sin \gamma}. \quad (17)$$

Тангенс угла наклона тягового каната к каретке выражается так:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{V_T}{H_T} = \frac{q_T x \operatorname{ctg} \gamma - 2Q \sin \beta}{q_T x + 2Q \cos \beta}. \quad (18)$$

Сам угол наклона равен

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{q_T x \operatorname{ctg} \beta - 2Q \cdot \sin \beta}{q_T x + 2Q \cos \beta}. \quad (19)$$

Величину угла  $\gamma$  для произвольного положения каретки можно определить графически по методике А. И. Дукельского [2]. Подставляя найденные значения вертикальной и горизонтальной составляющих из выражений (15) и (16) в формулу (2), получим

$$\begin{aligned} f_x &= \left[ \frac{q_0}{2 \cos \beta} + \frac{Q}{l} + \frac{\frac{q_T x \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{2 \cos \beta} - Q \operatorname{tg} \beta}{l(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{tg} \beta)} + \frac{\left(\frac{q_T x}{2 \cos \beta} + Q\right) \operatorname{tg} \beta}{l(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{tg} \beta)} \right] \cdot \\ &\cdot \frac{x(l-x)}{H_A + \frac{\left(\frac{q_T x}{2 \cos \beta} + Q\right) \cdot x}{l(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{tg} \beta)}} = \left[ \frac{q_0}{2 \cos \beta} + \frac{Q}{l} + \frac{q_T x}{2l \cos \beta} \right] \cdot \frac{x(l-x)}{H_A + \frac{\left(\frac{q_T x}{2 \cos \beta} + Q\right) x}{l(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{tg} \beta)}}. \end{aligned} \quad (20)$$

Формулы (15) ÷ (20) являются самыми общими. При нахождении каретки с грузом посередине пролета ( $x = \frac{l}{2}$ ) направление II—II параллельно хорде пролета  $AB$  и угол  $\gamma = \beta$ . Тогда формулы (15) ÷ (20) соответственно примут вид

$$V_{\tau} = \frac{1}{2} \sin 2\beta \left( \frac{q_{\tau} l}{4 \sin \beta} - Q \operatorname{tg} \beta \right); \quad (21)$$

$$H_{\tau} = \frac{1}{2} \sin 2\beta \left( \frac{q_{\tau} l}{4 \cos \beta} + Q \right); \quad (22)$$

$$R = \cos \beta \left( \frac{q_{\tau} l}{4 \cos \beta} + Q \right); \quad (23)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{q_{\tau} l \cos \beta - 4Q \sin^2 \beta}{(q_{\tau} l + 4Q \cos \beta) \sin \beta}; \quad (24)$$

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{q_{\tau} l \cos \beta - 4Q \sin^2 \beta}{(q_{\tau} l + 4Q \cos \beta) \sin \beta}; \quad (25)$$

$$f_{\max} = \left( \frac{q_0}{2 \cos \beta} + \frac{q_{\tau}}{4 \cos \beta} + \frac{Q}{l} \right) \cdot \frac{l^2}{4H_A + \sin 2\beta \left( \frac{q_{\tau} l}{4 \cos \beta} + Q \right)} \quad (26)$$

Формула (26) дает значение максимального прогиба несущего каната ВТУ с учетом вертикальной и горизонтальной составляющих усилий тягового каната.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Д. А. Абрамов. Теоретическое и экспериментальное исследование некоторых параметров воздушно-прелевочных установок на трелевке древесины в горных условиях. Труды ЦНИИМЭ, XVIII, вып. 2, Химки, 1960. [2] А. И. Дукельский. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. Машгиз, М., 1951.

Поступила в редакцию  
8 апреля 1963 г.

## ВОПРОСЫ ТЕОРИИ РАСКРОЯ ДРЕВЕСНЫХ СТВОЛОВ

В. С. ПЕТРОВСКИЙ

Инженер

(Сибирский технологический институт)

Чтобы раскряжевать хлыст на однородные по сортности бревна заданных размеров по диаметру и длине, необходимо выполнить ряд измерений и вычислительных операций. Для максимального их сокращения нужно иметь математические уравнения, характеризующие изменение параметров ствола по его длине. Такие уравнения являются теоретической основой раскроя хлыстов на бревна.

Теория раскроя может дать необходимые данные для разработки систем автоматического управления раскряжкой хлыстов по оптимальным программам. Поэтому изучение закономерностей изменения параметров ствола по длине представляет и теоретический, и практический интерес.

Лесная таксация дает ряд теоретических положений о строении, форме и объеме древесного ствола [1], [2], [5]. Однако по этим сведениям невозможно решить основные теоретические задачи раскроя хлыстов.

Переменные по длине ствола параметры можно разделить на две категории.

1. Количественные: текущий диаметр (диаметр, изменяющийся по высоте ствола), стволовой сбег, объемы отрезков одной длины — общие, цилиндрические, зон сбega.

2. Качественные: цена единицы объема и сортность отрезков древесины.

Формула образующей древесного ствола дает возможность вывести математические зависимости изменения всех количественных параметров. Математические уравнения, характеризующие изменение цены единицы объема древесины по длине хлыстов, являются теоретической основой экономики раскроя. Установление математических связей в распространении сортобразующих пороков древесины позволяет решить вопросы раскроя хлыстов, связанные с наибольшим выходом деловых бревен.

*Исследование образующей древесных стволов*

Д. И. Менделеев с помощью натуральных измерений установил, что образующую древесного ствола можно представить в виде кубической параболы

$$x = Al^3 + Bl^2 + Cl + \frac{D_k}{2}, \quad (1)$$

где  $x$  — полудиаметры ствола на различной высоте;  
 $l$  — расстояние от комля хлыста до места измерения диаметров;

$D_k$  — диаметр хлыста в комле;

$A, B, C$  — постоянные коэффициенты.

Д. И. Менделеев [7] нашел, что коэффициенты  $A, B, C$  для другого дерева этой же породы имеют иное значение. Эти исследования в 1917 г. были подтверждены работой И. И. Белановского [3]. Чтобы воспользоваться формулой (1) для теоретических расчетов раскроя, необходимо для каждого хлыста предварительно измерить величины  $x$  и соответствующие им величины  $l$ , а затем методом наименьших квадратов определить коэффициенты  $A, B, C$ . В Швеции Гойер [2] образующую древесных стволов, противостоящих разрушительным действиям ветра, собственного веса и веса кроны, рассматривает как логарифмическую кривую. Но это уравнение дает большие погрешности при определении диаметров в комлевой и вершинной частях ствола. С. Швенденер, К. Метцгер [2] и другие выдвинули гипотезу древесного ствола как бруса равного сопротивления. Уравнения образующей, выведенные согласно этой гипотезе, приводят к большим ошибкам в определении диаметров. Действительная форма стволов оказывается сложнее.

На основании экспериментального исследования автор статьи пришел к выводу, что математическая зависимость в изменении радиусов по длине древесных стволов как биологических тел является функцией трех переменных: а) величины наклона образующей к вертикали (или среднего стволового сбега  $i$ ); б) породы дерева с характерной для нее S-образной формой образующей —  $\Pi_s$ ; в) среднего коэффициента формы дерева  $q_2$ , выражающего степень сбежистости ствола.

Таким образом

$$x(l) = f(i, \Pi_s, q_2). \quad (2)$$

Только при учете закономерностей изменения этих трех переменных представляется возможным найти уравнение образующей, которая совпадает с фактической боковой кривой хлыста или очень близка к ней.

Математическое исследование [8] показало, что для каждой древесной породы зависимость между текущим радиусом поперечного сечения ствола  $x$  и расстоянием этого сечения от комля  $l$  с определенной точностью выражается уравнением параболы в канонической форме

$$x^2 = 2p(y - h), \quad (3)$$

где  $x, y$  — текущие координаты образующей;

$p$  — фокальный параметр;

$$h = H - 1;$$

$$y = l - 1;$$

$H$  — длина хлыста.

Выбор начала координат на высоте груди дерева или на расстоянии 1 м от комля спиленного хлыста объясняется известной устойчивостью величины диаметра в этом сечении (рис. 1). Фокальный параметр кривой  $p$  определяется основными размерами хлыста из конечных значений  $y = 0$ ;  $x = \frac{D}{2}$ , где  $D$  — диаметр хлыста в 1 м от комлевого торца. Подставляя значения  $x$  и  $y$  в формулу (3), получим

$$p = -\frac{D^2}{8h} = -\frac{D^2}{8(H-1)}. \quad (4)$$

Формула (4) показывает, что в зависимости от длины ствола одного и того же диаметра (при  $D = \text{const}$ ,  $h \neq \text{const}$ ) меняются наклон образующей и величина фокального параметра. Подставляя значение фокального параметра в уравнение (3), получим

$$x = \frac{D}{2} \sqrt{1 - \frac{y}{h}}$$

Заменяя  $h$  и  $y$  их значениями, находим конечную формулу параболической образующей

$$x = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{H-l}{H-1}} \quad (5)$$

Эта формула определенно характеризует наклон образующей к вертикали. Диаметры  $2x$ , вычисленные по формуле (5) для стволов одной породы, единого коэффициента формы, но разных разрядов высот (то есть различного наклона образующей) не совпадают с фактическими диаметрами  $D_\phi$ . Определены соответствующие ошибки  $\pm \Delta = D_\phi - 2x$ . Математический анализ ошибок  $\Delta$  показал, что

отношение  $\frac{\Delta}{D}$  есть функция  $\frac{l}{H}$ , то есть

$\pm \frac{\Delta}{D} = f\left(\frac{l}{H}\right)$ . Следовательно, уравнения для вычисления ошибок формулы (5) имеют вид

$$\pm \Delta = D \cdot f\left(\frac{l}{H}\right) \quad (6)$$

Таким образом, общая формула образующей древесных стволов различных пород и коэффициентов формы имеет следующее выражение:

$$x = \frac{D}{2} \left[ \sqrt{\frac{H-l}{H-1}} + f\left(\frac{l}{H}\right) \right] \quad (7)$$

Для сосны Ангарского бассейна с коэффициентом формы  $q_2 = 0,70 - 0,71 \approx \text{const}$  развернутая формула (7) имеет вид

$$x = \frac{D}{2} \left[ \sqrt{\frac{H-l}{H-1}} + 5,13 \left(\frac{l}{H}\right)^4 - 11,42 \left(\frac{l}{H}\right)^3 + 8,52 \left(\frac{l}{H}\right)^2 - 2,27 \frac{l}{H} + 0,127 \right] \quad (8)$$

Натурная проверка формулы (8) показала, что ошибки в определении текущих радиусов хлыста  $x$  не превышают  $\pm 0,5$  см. Однако для двувршинных и чрезвычайно искривленных стволов они больше. Следовательно, ошибки уравнения (8) не превышают точности практических измерений диаметров круглых лесоматериалов.

В. К. Захаров [5], [6] выдвинул гипотезу о единстве формы отдельных древесных стволов, выраженной в относительных величинах. Аргументы функций (7), (8) представлены в виде относительных величин  $\frac{l}{H}$ . Это является еще одним подтверждением объективности этой гипотезы.

Наличие формулы образующей позволяет решить ряд теоретических и практических вопросов раскря и таксации древесных стволов.

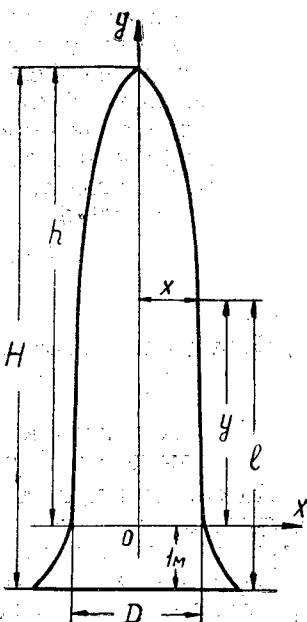


Рис. 1. Расчетная схема древесного ствола.

1. Наличие математической связи между текущим радиусом и расстоянием сечения до комля ствола дает возможность составить алгоритм электронно-вычислительной машины [9] для автоматического управления раскряжевкой хлыстов на бревна оптимальных размеров с наибольшим цилиндрическим объемом.

2. По уравнению образующей можно вывести формулу для вычисления объемов стволов  $V$ . Для этого необходимо проинтегрировать выражение  $dV = \pi x^2 \cdot dl$

$$V = \int_0^H \pi x^2 dl.$$

После интегрирования получим

$$V = M\pi D^2 H, \quad (9)$$

где  $M$  — постоянный коэффициент, величина которого зависит от породы дерева и среднего коэффициента формы.

Подобным интегрированием, но по другим пределам, можно найти формулы для вычисления объемов комлевых, срединных и вершинных бревен, имеющих различный сбег.

3. Взяв первую производную от уравнения образующей, получим формулу, характеризующую изменение сбega по длине ствола. Вторая производная уравнения образующей дает формулу для определения точек перегиба S-образной боковой кривой хлыстов.

Расчет по такой формуле показал, что образующая ствола Ангарской сосны от комля до  $0,37H$  имеет вогнутость, от  $0,37H$  до вершины — выпуклость.

4. Уравнения (7), (8) позволяют определить абсолютное видовое число  $F$

$$F = \frac{V}{V_{\text{ц}}},$$

где  $V$  — объем ствола;

$V_{\text{ц}}$  — объем равновеликого цилиндра диаметром, равным диаметру дерева на высоте груди.

Подставляя значения  $V$  и  $V_{\text{ц}}$ , получим

$$F = \frac{M\pi D^2 H}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot H}$$

После сокращения находим

$$F = 4M. \quad (10)$$

5. Уравнение образующей дает возможность вывести формулы для вычисления цилиндрического объема и объема зон сбega бревен из каждого хлыста. Таким образом, оно является теоретической основой раскряжки хлыстов на бревна оптимальных размеров. Кроме того, таксационные показатели ствола имеют взаимную математическую связь, то есть по одному из них можно определить другие.

#### *Исследование изменений цены единицы объема древесины по длине хлыстов*

Древесина по длине дерева не остается равноценной. Сосновые деловые хлысты в комлевой части имеют древесину наиболее высокого ка-



чества, которое постепенно снижается от начала зоны сучьев до вершины. Напённая и стволовая гниль также понижают качество древесины.

Экономическим измерителем качества древесины является цена единицы объема по преискуранту  $Q$ , руб./м<sup>3</sup>. Абсолютная величина ее есть функция четырех переменных: номера тарифного пояса преискуранта цен лесоматериалов  $T$ ; породы древесины  $P_s$ ; размера бревен по диаметру  $d_6$  и длине  $l_6$ ; наличия и степени развития пороков древесины в бревне  $\Phi$

$$Q = f(T, P_s, d_6, l_6, \Phi).$$

В определенном тарифном поясе для каждого хлыста (то есть при  $T = \text{const}$ ,  $P_s = \text{const}$ ) величина  $Q$  зависит от размера бревна и наличия в нем пороков древесины

$$Q = f(d_6, l_6, \Phi).$$

В свою очередь, размеры бревна и наличие в нем пороков зависят от расстояния верхнего торца бревна до комля хлыста  $l$ , то есть  $(d_6, l_6, \Phi) = f(l)$ . Следовательно,  $Q = f(l)$ . Но древесные стволы имеют различные длины. Поэтому чрезвычайно интересно и целесообразно стоимость единицы объема древесины выразить как функцию относительно расстояния данного отрезка ствола от комля  $Q' = f\left(\frac{l}{H}\right)$ . Эти теоретические предположения определили направление экспериментального исследования.

После раскряжки 3670 хлыстов хвойных пород автор установил, что по закономерностям изменения цены единицы объема древесины (по  $\frac{l}{H}$ ) все множество стволов одной породы можно разделить на несколько относительно однородных качественных групп. В трех леспромпхозах Красноярского края (где были поставлены опыты) все сосновые хлысты распределили по тринадцати группам. Для каждой из них построили графики изменения  $Q$  в зависимости от  $\frac{l}{H}$ . С помощью математической статистики для каждой качественной группы хлыстов найдены уравнения эмпирических кривых (рис. 2).

На графиках принято деление хлыстов на две группы по диаметру на высоте груди — до 30 см и более 30 см. Необходимость такого деления вызвана тем, что цена бревен диаметром более 24 см значительно выше, чем у бревен тоньше 24 см. Кроме четырех показанных категорий стволов, существуют еще фаупные, из которых вовсе не получается деловых сортиментов; у них  $Q$  постоянно для любого расстояния  $\frac{l}{H}$ .

При разделении хлыстов на качественные группы учитывались только сучки и гнили, то есть основные сортообразующие пороки. Другие пороки встречались реже и не имели существенного значения. Раскряжку круглого леса проводили согласно сортиментным заданиям предприятий, в которых основным видом деловой древесины был пиловочник.

В леспромпхозах Красноярского края подавляющее большинство деловых бревен выпускается длиной свыше 4 м. При длине 4—6,5 м они имеют более высокую цену, чем бревна короче 4 м. Поэтому выравненные кривые изменения цены единицы объема древесины по относительной длине получены на основании раскряжки хлыстов на деловые бревна длиной более 4 м (за исключением вырезки дровяных отрезков,

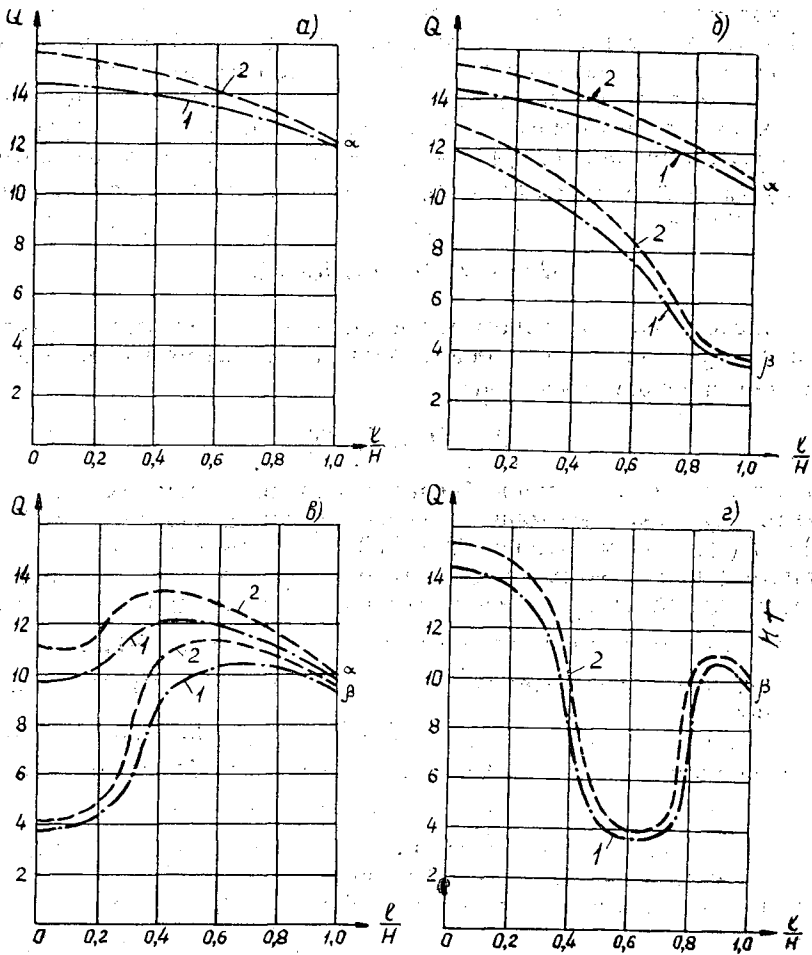


Рис. 2. Изменение цены единицы объема древесины руб./м<sup>3</sup>,

в зависимости от относительной величины расстояния от комля  $\frac{l}{H}$

(при диаметре на высоте груди до 30 см — 1; свыше 30 см — 2).

*a* — деловые хлысты с сучьями, допускаемыми в деловых бревнах I и II сортов ( $\alpha$ );  
*б* — деловые хлысты с сучьями, допускаемыми в низших сортах деловых сортиментов ( $\alpha$ ),  
 и полуделовые стволы с очень крупными сучьями ( $\beta$ ); *в* — деловые хлысты с напенной  
 гнилью, допускаемой только в низших сортах деловых бревен ( $\alpha$ ), и полуделовые хлысты  
 с напенной гнилью, не допускаемой в деловых сортиментах ( $\beta$ ); *г* — полуделовые стволы  
 со стволовой гнилью, не допускаемой в деловых сортиментах ( $\beta$ ).

длина которых часто была менее 4 м). На все выравненные кривые получены соответствующие эмпирические уравнения, имеющие общий вид,

$$Q_n = A \left( \frac{l_n}{H} \right)^m + B \left( \frac{l_n}{H} \right)^{m-1} + \dots + C \frac{l_n}{H} + D, \quad (11)$$

где  $l_n$  — расстояние от комля хлыста до верхнего торца  $n$ -го бревна;

$l_n - l_{n-1} > 4$  м — длина деловых бревен;

$l_n - l_{n-1} \leq 4$  м — длина дровяных бревен;

$A, B, \dots, C, D$  — коэффициенты, которые имеют определенное значение для каждой качественной группы хлыстов данной породы в конкретном тарифном поясе прейскуранта.

По всем тринадцати качественным группам сосновых хлыстов коррелятивные зависимости  $Q_n$  от  $\frac{l_n}{H}$ , за редким исключением, довольно тесны.

Общая стоимость древесины, полученная при раскряжевке хлыста  $Q_{\text{общ}}$ , равна сумме произведений объемов отрезков  $V_n$  на цену единицы объема каждого отрезка  $Q_n$ .

$$Q_{\text{общ}} = \sum_{n=1}^l V_n \cdot Q_n. \quad (12)$$

Объем отрезка хлыста  $V_n$  равен произведению его длины  $l_n - l_{n-1}$  на квадрат радиуса в верхнем отрубе  $x_n^2$  и на некоторый коэффициент  $K$ .

$$V_n = (l_n - l_{n-1}) \cdot x_n^2 \cdot K. \quad (13)$$

Подставив в формулу (12) значение уравнений (11) и (13), получим

$$\begin{aligned} Q_{\text{общ}} = & \left[ A \left( \frac{l_1}{H} \right)^m + B \left( \frac{l_1}{H} \right)^{m-1} + \dots + C \frac{l_1}{H} + D \right] \cdot [l_1 \cdot x_1^2 \cdot K] + \\ & + \left[ A \left( \frac{l_2}{H} \right)^m + B \left( \frac{l_2}{H} \right)^{m-1} + \dots + C \frac{l_2}{H} + D \right] \cdot [(l_2 - l_1) x_2^2 K] \dots + \\ & + \left[ A \left( \frac{l_i}{H} \right)^m + B \left( \frac{l_i}{H} \right)^{m-1} + \dots + C \frac{l_i}{H} + D \right] \cdot [(l_i - l_{i-1}) \cdot x_i^2 \cdot K], \quad (14) \end{aligned}$$

причем

$$l_i = H.$$

Анализ уравнения (14) по каждой качественной группе показывает, что абсолютный размер  $Q_{\text{общ}}$  зависит от принятой программы (схемы) раскроя  $P_p$  хлыста, то есть  $Q_{\text{общ}} = f(P_p)$ . Программа раскроя  $P_p$  реализуется при раскряжевке хлыста на бревна определенных размеров по длине, то есть

$$P_p \rightarrow l_1, (l_2 - l_1), (l_3 - l_2), \dots, (l_i - l_{i-1}),$$

где  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_i$  — расстояние сечений ствола от комля.

Следовательно,

$$Q_{\text{общ}} = f \cdot [l_1, (l_2 - l_1), (l_3 - l_2), \dots, (l_i - l_{i-1})].$$

Установленные закономерности в изменении цены единицы объема древесины по относительному расстоянию от комля дают определенную теоретическую основу для дальнейших экономических исследований. Кроме того, имеется реальная возможность составить алгоритм раскряжевки хлыстов, который обеспечивает получение наибольшего выхода бревен по стоимости.

Найденные в результате экспериментальных исследований аргументы уравнений (11), (13) представлены в виде относительных величин  $\frac{l_n}{H}$ , что является еще одним подтверждением правильности гипотезы В. К. Захарова [5], [6].

*Исследование закономерностей распространения гнилей  
по длинам хлыстов*

Основными пороками древесины, которые определяют сорт бревен, являются сучки и гнили. Распространение сучков по древесному стволу и их диаметр можно определить визуально. Исследования С. Н. Горшина [4] и других показали, что чем сильнее развита гниль на пне; тем выше она поднимается по стволу. Это положение определило направление данного исследования. В результате опытных раскряжек хлыстов и наблюдений за распиловкой фаутовых бревен установлена корреляционная зависимость между длиной распространения  $h_r$  и диаметром центральной гнили  $d_r$  округлого сечения в комле хлыста [8].

Для сосны, лиственницы и пихты эта зависимость имеет вид:

$$h_r = 40d_r^2 + 10d_r. \quad (15)$$

Формула (15) имеет смысл при  $d_r \leq 0,18$  м. При  $d_r > 0,18$  м действительна следующая корреляционная связь:

для сосны и лиственницы

$$h_r = -500d_r^2 + 395d_r - 49, \quad (16)$$

для пихты

$$h_r = -100d_r^2 + 216d_r - 30,7. \quad (17)$$

Около 10% хлыстов из числа пораженных имели гнили, смещенные от центра комлевого торца, с неправильной формой сечения. Натурные наблюдения показали, что чем больше площадь сечений таких гнилей,

тем выше они поднимаются по стволу. Установление математической связи между этими параметрами является задачей дальнейшего исследования. Уравнения (15), (16), (17) определяют длину распространения центральных напённых гнилей, что является решением вопроса определения длины комлевого бревна с гнилью.

При раскряжке хлыстов с наличием напённой гнили нужно определить длину откомлевки и диаметр гнили в верхнем отрубе, который не превышает допустимого размера поражения в деловых сортиментах. Кроме того, часть хлыста, где размер гнили допустимается в низших сортах деловых бревен, необходимо раскряжевать на отрезки, однородные по сортности. При раскряжке хлыстов переносными моторными пилами задача решается последовательной откомлевкой коротких чурок. Для автоматизированного раскряга этот способ не годится. Натурные наблюдения [8] показали, что центральные гнили с округлым сечением по геометрической форме наиболее близки к параболюиду, с образующей параболой в обычной системе координат (рис. 3).

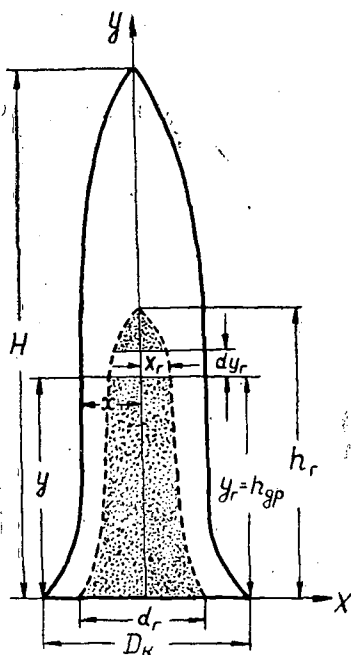


Рис. 3. Расчетная схема древесного ствола с центральной напённой гнилью.

$$x^2 = 2p_r (y - h_r), \quad (18)$$

где  $p_r$  — фокальный параметр;  
 $x_r, y_r$  — текущие координаты образующей гнили.

При  $y_r = 0$ ,  $x_r = \frac{d_r}{2}$ ; подставляя эти значения в уравнение (18), получим

$$p_r = -\frac{d_r^2}{8h_r}. \quad (19)$$

В этой же системе координат образующая древесного ствола с определенной точностью может быть представлена в виде параболической кривой  $x^2 = 2p(y - H)$  при  $p = -\frac{D_k^2}{8H}$ . По действующим ГОСТам предельно допустимый относительный диаметр гнили в деловых сортаментах равен 0,5, то есть  $\frac{2x_r}{2x} = 0,5$ ;  $x = 2x_r$  при  $y = y_r = h_{др}$ , где  $h_{др}$  — длина дровяного комлевого бревна.

Заменим  $x, x_r$  и  $y, y_r$  их значениям

$$\sqrt{2p(h_{др} - H)} = 2\sqrt{2p_r(h_{др} - h_r)};$$

подставим значения  $p, p_r$  и после преобразования получим

$$h_{др} = \frac{D_k^2 \cdot H \cdot h_r - 4d_r^2 \cdot H \cdot h_r}{D_k^2 h_r - 4d_r^2 H}. \quad (20)$$

Подобным математическим приемом можно вывести формулы для вычисления длины бревна с любым относительным диаметром гнили в верхнем отрубе. Натурная проверка формул (15), (16), (17), (20) показала их вполне удовлетворительную точность. Это дает теоретическую основу для составления алгоритма раскряжевки хлыстов с центральными напешными гнилями [9].

При проведении опытных раскряжек отдельные стволовые гнили встречались редко и только на перестойных деревьях. Закономерности распространения стволовых гнилей не ясны.

Проведенные исследования показали, что количественные и качественные параметры не остаются постоянными по длине хлыстов и имеют ясно выраженные закономерности изменения; первые из них близки к функциональным, вторые являются коррелятивными.

Установление математических связей в изменении параметров древесных стволов дает научную основу для решения задач теории раскряя хлыстов. Наличие соответствующих уравнений позволяет синтезировать алгоритм раскря хлыстов по оптимальным программам.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. П. Анучин. Раскряжевка хвойных деревьев. ГЛТИ, 1936. [2]. Н. П. Анучин. Лесная таксация. ГЛБИ, 1960. [3]. И. И. Белановский. Об исследовании формы древесного ствола. «Лесной журнал», вып. 1—3, 1917. [4]. С. Н. Горшин. Главнейшие гнили хвойных пород и их откряжевка. ГЛТИ, 1935. [5]. В. К. Захаров. Лесная таксация. Изд-во «Высшая школа», 1961. [6]. В. К. Захаров. Формы древесных стволов и методы ее исследования. Сборник научных трудов БЛТИ, вып. 10, 1957. [7]. Д. И. Менделеев. Труды по сельскому хозяйству и лесоводству, 1954. [8]. В. С. Петровский. Исследование рационального и слепого раскря хлыстов хвойных пород. Труды СибТИ, т. XXXII, 1962. [9]. В. С. Петровский. Вопросы теории синтеза алгоритма самопрограммирующих устройств раскря древесных стволов. Труды СибТИ, итоги научно-исследовательских работ за 1963 г., Красноярск, 1963.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ТЯГИ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ РАБОТЫ ПОЛЗУЧЕГО БАЛЛАСТИРОВОЧНОГО ОРГАНА

А. С. ИВАНКОВИЧ

Аспирант

(ЦНИИМЭ)

Путевая машина ПМ-7 (с ползучим балластировочным органом) смонтирована на базе нетормозной платформы и предназначена для укладки привозного грунта и балласта при строительстве и ремонте железных дорог колеи 750 мм, а также для обработки бровки балластного слоя и обочин полотна. Машина работает в сцепе с мотовозом или другими тяговыми единицами.

При подъёмке пути ползучий балластировочный орган снимают с машины и через освобожденный от болтов стык заводят под рельсошпальную решетку. Машина тянет за собой на стальных тросах балластировочный орган, который, действуя, как клин, последовательно извлекает путевую решетку на поверхность (рис. 1), заглаживает

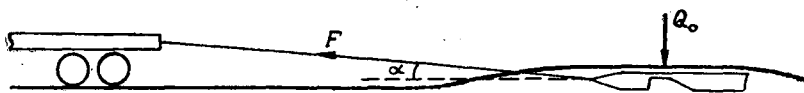


Рис. 1. Схема действия сил при движении путеподемного органа.

шпальные ящики и уплотняет балласт, засыпанный на решетку при помощи боковых дозаторов. На нем имеются передняя и задняя опорные площадки с приподнятыми носовыми частями и два параллельно расположенных шпальных транспортера из текстильного ремня с направляющими заклепками. При работе ленты транспортеров с лежащими на них шпалами движутся по шинам.

Величину силы тяги, потребную для работы ползучего балластировочного органа на горизонтальном участке пути, определяли при помощи тяговых колец с проволочными датчиками, имеющими сопротивление 400 ом каждый. Датчики монтировали в тяговые тросы, на которых тянули путеподемник. В целях ликвидации кососимметрии датчики соединяли параллельно, как это показано на рис. 2.

Датчики, работающие на растяжение, обозначены  $R - \Delta R$ , на сжатие —  $R + \Delta R$ . Все размеры на рисунке указаны в миллиметрах. Кольца изготовляли из стали Ст-5 и закачивали.

Тарировку тяговых звеньев производили на специальном приспособлении при помощи динамометра сжатия ДС-3 до и после экспериментов.

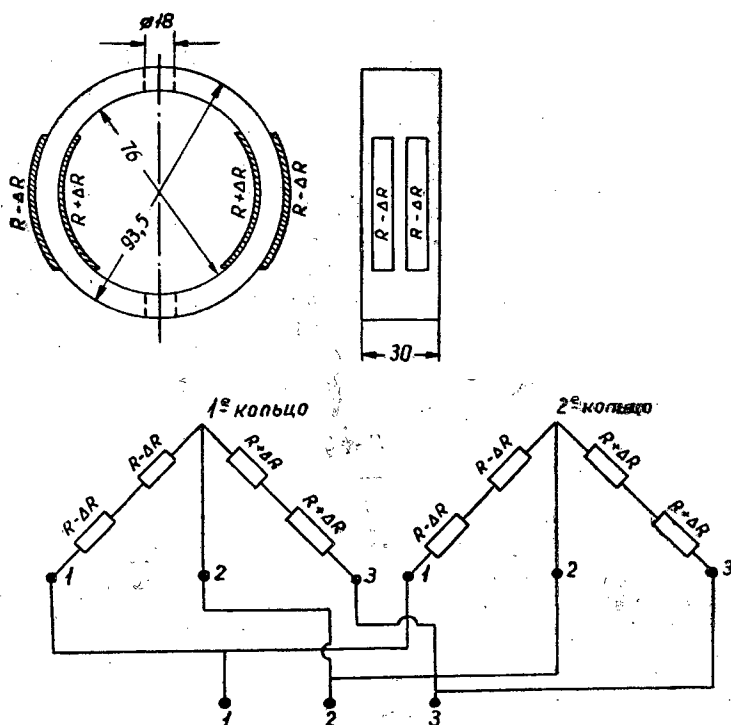


Рис. 2. Тяговые кольца и схема соединения датчиков.

Усилия записывали осциллографом Н-700 при скоростях движения от 1 до 10 км/час.

Обработку осциллограмм производили планиметрированием участков в зависимости от скорости движения балластировочного органа.

Полученные экспериментальные величины обрабатывали способом статистических моментов.

Обработка показала, что давление рельсо-шпальной решетки на балластировочный орган и сила тяги не зависят от скорости движения. С увеличением скорости от 6 до 10 км/час частота и амплитуды колебаний силы тяги возрастают, но средняя величина тягового усилия при этом остаётся в одних и тех же пределах. Это явление можно объяснить неравномерностью движения балластировочного органа и инерционными силами в гибких тяговых тросах.

В то же время было установлено, что сила тяги тесно связана с силой давления плети рельсо-шпальной решетки на балластировочный орган. Повышение давления  $P$  вызывает увеличение силы тяги  $F$ .

В результате обработки экспериментальных данных была получена эмпирическая зависимость средней величины силы тяги в зависимости от давления рельсо-шпальной решетки на балластировочный орган

$$F_{\text{ср}} = 840 + P - 0,000288P^2 \text{ кг.}$$

Эксперименты показали, что мгновенная максимальная величина силы тяги, получающаяся из-за неравномерности хода тяговой единицы, а также от попадания камней и других предметов под балластировочный орган, может быть определена путем введения коэффициента динамичности  $k_d$ , тогда

$$F_{max} = k_d \cdot F_{cp}$$

Коэффициент динамичности определяли экспериментально. Он равен

$$k = 1,37 - 1,44.$$

Указанные формулы действительны при  $P = 800 \div 2000$  кг. Но так как величина давления рельсо-щипальной решетки даже при самых больших величинах начального погонного сопротивления (до 6 кг/см) не превышает 2000 кг, то формулы могут найти широкое применение для определения необходимой силы тяги при работе ползучего балластировочного органа на дорогах узкой колеи.

На рис. 3 дан график изменения  $F$  от  $P$ , а также нанесены эмпирические точки.

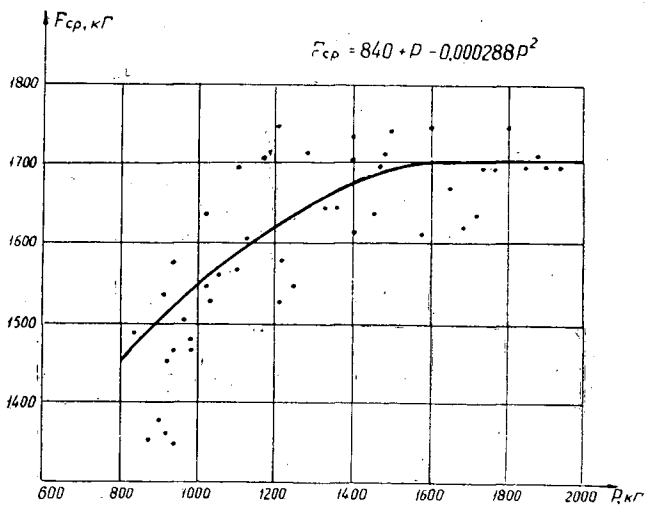


Рис. 3. График зависимости силы тяги, потребной для работы балластировочного органа от величины давления рельсо-щипальной решетки.

При балластировке пути на подъемах потребное тяговое усилие может быть определено по формулам

$$F_{cp} = \frac{840 + P - 0,000288P^2}{\cos \alpha}$$

и

$$F_{max} = \frac{k_d \cdot F_{cp}}{\cos \alpha},$$

где  $\alpha$  — уклон пути, град.

Из расчетов видно, что мотовоз ДМ-54, имеющий тяговое усилие 2000 кг, вполне обеспечивает нормальную работу балластировочной машины с ползучим подъемником. Работа опытных образцов машины ПМ-7 в Крестецком леспромхозе ЦНИИМЭ и Октябрьском леспромхозе Костромского совнархоза подтверждает сделанные расчеты.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ХОДОВЫХ КАЧЕСТВ ЛЕСОВОЗНЫХ ВАГОНОВ-СЦЕПОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ С ПОВЫШЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ

**А. И. ЛОГИНОВ**

Старший научный сотрудник, кандидат технических наук

(Центральный НИИ механизации и энергетики лесной промышленности)

Повышение скорости и увеличение безопасности движения поездов непосредственно связаны с улучшением динамических характеристик подвижного состава и технического состояния железных дорог. Первое из них, в свою очередь, связано с улучшением параметров тележки и их рессорного подвешивания.

Лаборатория рельсового транспорта ЦНИИМЭ в 1957—1959 гг. проводила большую научно-исследовательскую работу по созданию рациональной конструкции тележки с улучшенными параметрами рессор для вагонов-сцепов колеи 750 мм, то есть такой тележки, которая, с одной стороны, обеспечивала бы наиболее спокойный ход вагона и, с другой, оказывала бы наименьшее воздействие на верхнее строение пути лесовозных узкоколейных железных дорог. Были испытаны конструкции тележек с различным рессорным подвешиванием.

Техническая характеристика испытанных тележек приведена в табл. 1.

Таблица 1

Тип тележки	Вес тележки, кг	Характеристика рессорного комплекта		
		число рессор и пружин в комплекте	статический прогиб, мм	относительное трение, %
Поясная с чистопружинным рессорным подвешиванием . . . . .	900	Четыре витые пружины . . . . .	10-13	1,5-3
Литая с центральным рессорным комплектом одной эллиптической рессоры . . . . .	1010	Двухрядная эллиптическая рессора . . . . .	16	12,5
Литая с двойным рессорным подвешиванием . . . . .	1130	Двухрядная эллиптическая рессора и четыре витые пружины . . . . .	$\frac{19,5}{19,0}$	11,5
Литая с комбинированным рессорным подвешиванием . . . . .	960	Эллиптическая рессора и две витые пружины . . . . .	20,5	8,5

Для получения сравнительных данных о ходовых качествах лесовозных вагонов-сцепов колеи 750 мм на различных тележках динамические испытания проводили на одном и том же (опытном) участке пути.

Известно, что качество хода вагона оценивается коэффициентом вертикальной динамики, то есть отношением динамической (дополнительной) нагрузки, возникающей при движении, к статической

$$k_d = \frac{P_{\text{дин}}}{P_{\text{ст}}} = \frac{f_{\text{дин}}}{f_{\text{ст}}} (1 + \varphi) + \varphi,$$

где  $k_d$  — коэффициент вертикальной динамики;

$P_{\text{дин}}$  — динамическая (дополнительная) сила, действующая на вагон при движении;

$P_{\text{ст}}$  — статическая нагрузка на рессорный комплект;

$f_{\text{дин}}$  — динамический прогиб рессорного комплекта, измеряемый при испытаниях, мм;

$f_{\text{ст}}$  — статический прогиб рессорного комплекта, мм;

$\varphi$  — величина относительного трения в рессорном комплекте.

Для оценки динамических (ходовых) качеств лесовозных вагонов-цепов автором установлены следующие параметры:

хороший ход  $k_d \leq 0,25$ ;

удовлетворительный ход  $k_d = 0,25 \div 0,40$ ;

допустимый ход  $k_d = 0,40 \div 0,60$ ;

опасный ход  $k_d \geq 0,60$ .

Кривые зависимости максимальных коэффициентов вертикальной динамики различных тележек от скорости движения по опытному участку балластированного пути приведены на рис. 1.

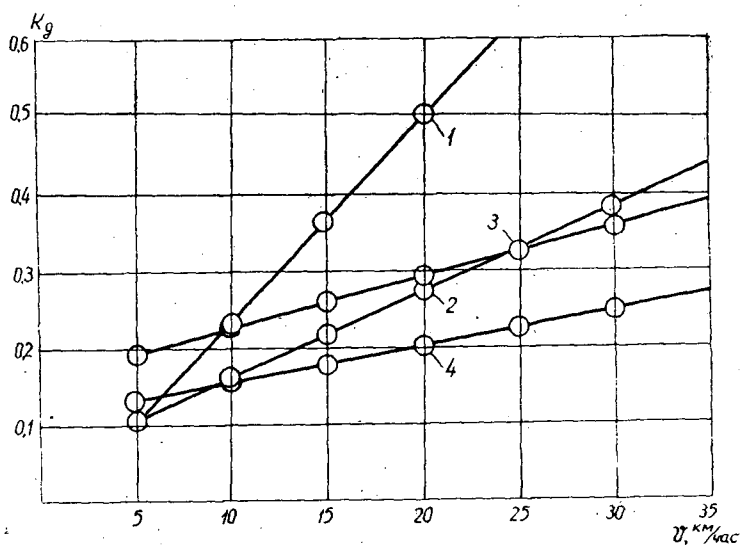


Рис. 1. 1 — поясная тележка с чистопружинным подвешиванием; 2 — литая тележка с двойным рессорным подвешиванием; 3 — литая тележка с одной эллиптической рессорой в комплекте; 4 — литая тележка с комбинированным рессорным подвешиванием.

Испытания показали, что вагоны-цепы на тележках с чистопружинным подвешиванием обладают худшим качеством хода в вертикальном направлении. Это обусловлено малым статическим прогибом рессорного комплекта при незначительном коэффициенте относительного трения.

Экспериментальные исследования колебаний наддресорного строения позволили установить, что при скорости движения вагона-сцепы на тележках с чистопружинным рессорным подвешиванием свыше 20 км/час вагон может сойти с рельсов.

Лучшими ходовыми качествами обладают вагоны-сцепы на литых тележках с комбинированным рессорным подвешиванием. Здесь обеспечена безопасность движения лесовозных вагонов-сцепов; вагоны на таких тележках имеют наиболее спокойный ход и наименьшее воздействие на верхнее строение пути (рис. 2):

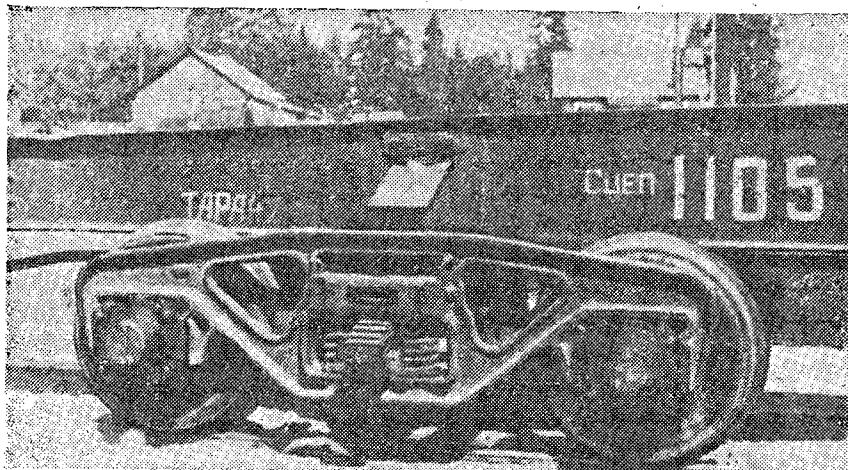


Рис. 2. Литая тележка с комбинированным рессорным подвешиванием, рекомендованная для серийного изготовления.

К сожалению, из-за плохого технического состояния пути лесовозных ужд испытания проводили при скоростях движения до 35 км/час.

С целью вскрытия резерва и получения данных о качестве хода при движении с более высокими скоростями лабораторией рельсового транспорта с участием автора были проведены динамические испытания вагонов-сцепов «ЦНИИМЭ-ДВЗ» на литых тележках с комбинированным рессорным подвешиванием при скоростях до 60 км/час на Эстонской узкоколейной дороге МПС. При этом ставили также и другую задачу: выявить возможность ликвидации двойной перегрузки хлыстов с лесовозных вагонов-сцепов на вагоны МПС колеи 750 мм и вторично с последних на вагоны МПС колеи 1524 мм.

Для проведения испытаний опытный вагон-сцеп загружали хлыстами вразнокомелицу до полной его грузоподъемности ( $Q_{бр} = 32,0 T$ ).

Опытные поездки с вагоном-сцепом проводили на перегоне Сигасте—Рииселья. Путь на этом участке уложен из рельсов типа Р18. Рельсы имели износ до 3,0 мм; зазоры в стыках (при температуре +3°) колебались от 1 до 11 мм. Стыковые накладки — стандартные на четырех болтах. Количество шпал на 1 км пути — 1756 ÷ 1773 шт. Шпалы стандартные, сосновые. Балласт — карьерный гравий с загрязненностью менее 15%. Общее техническое состояние опытного участка, по данным балльной системы МПС, оценивалось отличным показателем — ноль.

Опытный поезд состоял из тепловоза ТУ-2 № 140, динамометрического вагона ЦНИИМЭ, опытного вагона-сцепы «ЦНИИМЭ-ДВЗ» и лед-

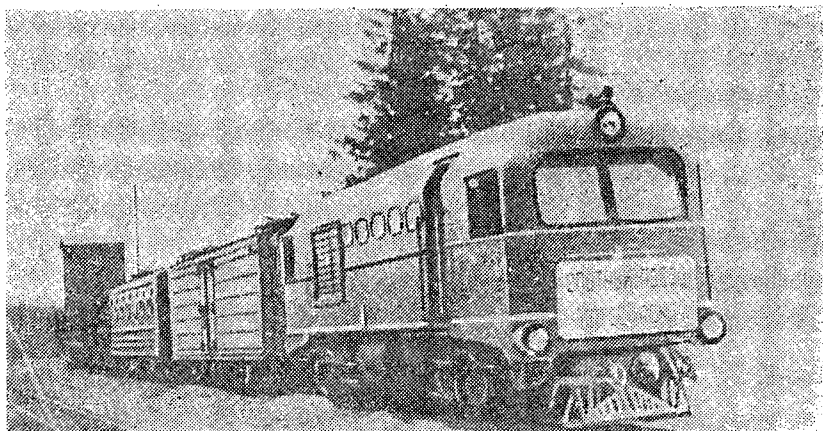


Рис. 3. Опытный поезд при динамических испытаниях вагона-сцепы «ЦНИИМЭ-ДВЗ» на Эстонской железной дороге колеи 750 мм МПС с повышенными скоростями движения.

ника (рис. 3). Последний был включен в опытный поезд с целью получения достаточного количества тормозных осей при движении с повышенными скоростями.

Проверку динамических (ходовых) качеств вагонов-сцепов производили по записям на ленту осциллографа ПОБ-14М прогибов рессорных комплектов при движении опытного поезда только тягой. Для измерения прогибов использовали электрические прогибомеры реостатного типа.

Величины максимальных значений динамических прогибов и коэффициентов вертикальной динамики вагона-сцепы «ЦНИИМЭ-ДВЗ» на литых тележках с комбинированным рессорным подвешиванием приведены в табл. 2; на графике рис. 4 показана зависимость их от скорости

Таблица 2

Скорость, км/час	Максимальные наблюдаемые значения	
	динамических прогибов $f_d$ , мм	коэффициента вертикальной динамики, $k_d$
До 30	до 1,2	до 0,15
30—40	2,6	0,22
40—50	4,0	0,30
50—60	4,65	0,35

движения (кривая 5). Эти данные позволяют считать, что ходовые качества вагонов-сцепов «ЦНИИМЭ-ДВЗ» на литых тележках с базой 1150 мм и с комбинированным рессорным подвешиванием ( $\kappa_{р.к.} = 175 \text{ кг/мм}$ ) отвечают требованиям безопасности движения для скоростей до 60 км/час на дорогах, по техническому состоянию равноценных участку пути перегона Сигасте—Рииселья, Эстонской железной дороги колеи 750 мм.

Максимальные вероятные значения равны:  $f_d$ —4,6 мм,  $k_d$ —0,355; средние арифметические соответственно—2,2 мм и 0,205; средние квадратические отклонения—0,97 и 0,06; коэффициенты корреляции—0,64 и 0,62.

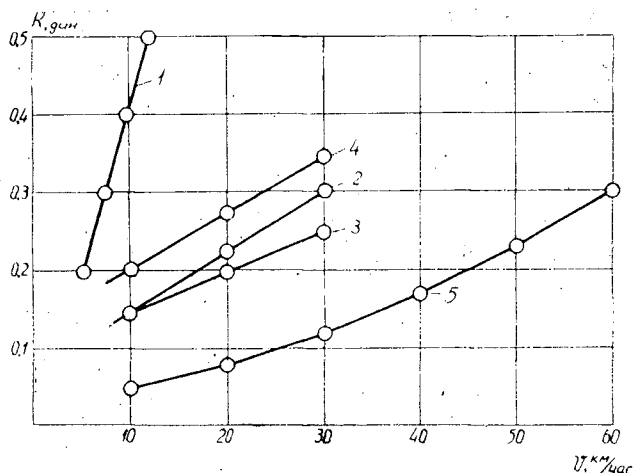


Рис. 4. 1 — временный безбалластный путь (ус); 2 — случайные участки магистрального пути лесовозной железной дороги; 3 — опытный участок магистрали — прямая; 4 — опытный участок магистрали — кривая —  $R=150$  м; 5 — опытный участок пути Эстонской железной дороги МПС.

На графике (рис. 4) дополнительно нанесены кривые зависимости дополнительной перегрузки рессор при движении вагона-цепы на различных участках лесовозной узкоколейной железной дороги.

Из графика видно, что улучшение конструкции пути вызывает существенное уменьшение амплитуд вертикальных колебаний вагона-цепы.

При движении по пути, содержащему в соответствии с ПТЭ железных дорог колеи 750 мм, не наблюдается резких отклонений амплитуд колебаний вагона-цепы при одной и той же скорости. Результаты статистической обработки опытных данных дали возможность рекомендовать следующие эмпирические формулы зависимости амплитуд динамических прогибов и коэффициентов вертикальной динамики при движении вагона-цепы с повышенными скоростями на пути с относительно хорошим содержанием:

$$f_{d(max)} = 0,00071v^2 + 0,0143v + 0,055;$$

$$k_{d(max)} = 0,000012v^2 + 0,0033v + 0,025.$$

Улучшение содержания верхнего строения пути оказывает на параметры колебаний наддресорного строения не только количественное, но и качественное влияние. Из осциллограмм видно, что основными при движении вагона-цепы по улучшенному пути с повышенными скоростями являются колебания подпрыгивания и галоширования; явления биевания в этом случае не наблюдали.

При движении со скоростями свыше 35 км/час происходит сильная боковая качка, вызывающая опасность опрокидывания вагона-цепы.

Несмотря на невысокие скорости, амплитуды колебаний вагонов-цепов при движении по ужд значительно больше, чем на пути с усиленной конструкцией верхнего строения при движении с повышенными скоростями.

Следовательно, при движении вагонов-цепов по лесовозной железной дороге на ходовые части и верхнее строение пути действуют значи-

тельные нагрузки, которые, в конечном счете, разрушают элементы вагона и пути.

Поэтому выбор оптимальных параметров рессорного подвешивания и правильное содержание пути являются важными факторами в вопросе повышения экономической эффективности перевозок по узкоколейным железным дорогам.

Из графика (рис. 4) видно также, что значения колебаний наддресорного строения вагона-сцепки на кривой в 1,2 ÷ 1,4 раза больше, чем на прямой. Это можно объяснить более тяжелыми условиями работы подвижного состава и, следовательно, пути.

Как известно, при движении подвижного состава по кривым на него действуют дополнительные динамические вертикальные силы, обусловленные неравномерным распределением их на наружной и внутренней нитях кривой при скорости движения, не соответствующей возвышению наружного рельса, и горизонтальные, возникающие при вписывании вагона-сцепки в кривую.

Действие таких сил на подвижной состав вызывает более быстрое расстройство пути на кривых участках по сравнению с прямыми. Поэтому кривые участки требуют значительно большего объема работ по текущему содержанию и улучшению их качества; особенно это важно при движении поездов с повышенными скоростями.

---

Поступила в редакцию  
7 апреля 1961 г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ЛОКОМОТИВОВ И ВАГОНОВ НОРМАЛЬНОЙ И УЗКОЙ КОЛЕИ ОТ КОЛЕБАНИЙ НАДРЕССОРНОГО СТРОЕНИЯ

**И. С. ГОРЮНОВ**

Кандидат технических наук

(Сибирский технологический институт)

На железнодорожном транспорте в особенности за последние годы большое внимание уделяют исследованию влияния вертикальных колебаний наддресорного строения локомотивов и вагонов на безопасность движения по рельсовому пути (при больших колебаниях подвижной состав может сойти с пути, а прочность рельсов оказывается недостаточной).

Эти колебания представляют практический интерес еще и потому, что при движении поезда на их возбуждение и поддержание расходуется сила тяги локомотива, следовательно, они являются одним из факторов, вызывающих сопротивление движению поезда. До последнего времени не было каких-либо опытных и других данных, позволяющих дать количественную оценку этой компоненты сопротивления.

Имеются лишь предположения, что она должна играть немаловажную роль в общей величине сопротивления.

В ряде работ для определения величины основного удельного сопротивления получены теоретические расчетные формулы, которые рекомендуются для тяговых расчетов. В этих формулах не учтены компоненты сопротивления от колебаний на рессорах, а также от ударов на неровностях пути. Практикой эксплуатации железных дорог и опытными работами установлено, что при слабой конструкции пути или плохом содержании его значительно увеличивается сопротивление движению одного и того же подвижного состава. Очевидно, что для снижения сопротивления и создания теоретических формул для его количественной оценки необходим всесторонний учет всех компонент сопротивления движению локомотивов и вагонов.

В нашей статье «О методе определения удельного сопротивления от колебаний наддресорного строения локомотивов» [2] предложен метод определения составляющей удельного сопротивления от вертикальных колебаний наддресорного строения вагонов и локомотивов  $\omega''_{уд}$  и впервые приведены численные ее значения. В данной работе излагаются результаты определения абсолютной и относительной величин компоненты удельного сопротивления на более обширном опытном материале. При подсчете численных значений  $\omega''_{уд}$  в первую очередь необходимо знать величины амплитуд и частот суммарных вертикальных колебаний локомотивов и вагонов на рессорах. Для подвижного состава нормальной колеи эти данные в готовом виде приняты по материалам С. С. Крепко-

горского [3]. Для узкой колеи амплитуды и частоты получены автором статьи в результате обработки осциллограмм записей вертикальных колебаний тепловоза ТУГ-4, платформ «Лесосудмашстрой», вагонов-сцепов ЭМ-51 на Крестецкой и вагонов-сцепов ЭМ-51 на Эстонской дорогах, которые предоставила в распоряжение автора лаборатория рельсового транспорта ЦНИИМЭ. Записи колебаний на Крестецкой лесовозной ужд производили на опытных и случайных участках магистрального пути, имевшего рельсы типа Р15, 1700 шпал на 1 км и песчаный балласт. Опытный участок перегона Сигасте—Рийселя Эстонской железной дороги МПС колеи 750 мм имел путь типовой конструкции, состояние пути оценивается баллом 0. Для вагонов-сцепов ЭМ-51 и платформы «Лесосудмашстрой» записи колебаний взяты по левым и правым рессорным комплектом обеих тележек, для тепловоза ТУГ-4 — по всем восьми рессорам. Всего было обработано 89 осциллограмм, каждая из которых соответствовала определенному участку пути длиной от 20 до 150 м. Число колебаний на участках составляло от 5 до 35, при статистической обработке использовано 3040 опытных значений амплитуды и частот колебаний.

Полученные средние значения амплитуд  $z_{\text{ср}}$  и частот колебаний  $\tau_{\text{ср}}$  рессор, а также найденные численные величины  $\omega''_{\text{уд}}$  тепловоза ТУГ-4 и вагонов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Подвижной состав	$v$ , км/час	$z_{\text{ср}}$ , мм	$\tau_{\text{ср}}$ , 1/сек	$\omega''_{\text{уд}}$ , кг/Т
Тепловоз ТУГ-4 . . . . .	12	1,6	0,47	0,54
	15	1,7	0,50	0,48
	17	1,8	0,51	0,46
	19	2,0	0,57	0,56
	22	2,5	0,71	0,69
	25	3,8	0,93	1,20
	28	4,3	1,31	1,74
	25	3,8	0,93	1,20
Платформа «Лесосудмашстрой»	11	1,1	2,20	0,15
	16	1,4	2,40	0,18
	18	1,7	2,80	0,13
	20	1,9	3,00	0,19
	21	1,7	2,80	0,15
	25	2,0	4,30	0,23
Вагоны-сцепы ЭМ-51 на Крестецкой дороге . . . . .	10	1,2	0,42	0,44
	15	1,4	0,67	0,65
	20	2,0	0,88	0,80
	25	2,4	0,97	0,85
	30	2,8	1,19	1,00
	35	3,2	1,39	1,14
Вагоны-сцепы ЭМ-51 на Эстонской дороге . . . . .	25	0,6	0,80	0,15
	35	1,0	1,20	0,30
	45	1,1	1,50	0,33
	50	1,2	1,70	0,36
	55	1,4	2,10	0,46

При подсчете величины  $\omega''_{\text{уд}}$  коэффициент трения  $\mu$  рессор вагонов-сцепов ЭМ-51, тепловоза ТУГ-4 принят согласно исследованиям ЦНИИМЭ [4], равным 0,7, для платформы «Лесосудмашстрой»  $\mu = 0,05$ . Вес наддресорного строения и полный вес подвижного состава взяты по данным взвешивания во время опытов.



Как видно из табл. 1, амплитуды и частоты вертикальных колебаний рессор подвижного состава заметно возрастают с увеличением скорости движения. Рост амплитуд объясняется тем, что с увеличением скорости движения растет величина силовых импульсов, передаваемых колесам со стороны рельсового пути, и усиливается воздействие на подвижной состав других факторов, вызывающих колебания на рессорах. Рост частот колебаний происходит по той причине, что при больших скоростях движения за единицу времени состав проходит больший участок пути, а при этом возрастает число возмущающих факторов.

Данные табл. 1 показывают значительное влияние состояния пути на величину амплитуд и частот вертикальных колебаний вагонов-цепов ЭМ-51. Так, на Эстонской дороге, где состояние пути отличное, при скорости движения 35 км/час значения амплитуд колебаний в 3 раза меньше, чем на Крестецкой при той же скорости. Даже при  $v = 55$  км/час они в 2,3 раза меньше, нежели при  $v = 35$  км/час на Крестецкой дороге. Подобное явление наблюдается и для безбалластных путей Крестецкой дороги, на которых амплитуды колебаний при  $v = 10-15$  км/час возрастают в 2,5—3,5 раза по сравнению с магистральными участками.

Абсолютные значения  $\omega''_{уд}$  (табл. 1) позволяют оценить влияние на эту составляющую таких факторов, как скорость движения и состояние рельсового пути. Полученный материал о величине  $\omega''_{уд}$  тепловоза ТУ<sup>Г</sup>-4 и особенно вагонов-цепов ЭМ-51 на Крестецкой дороге позволяет сделать заключение о том, что эта компонента  $\omega'_0$  и  $\omega''_0$  играет значительную роль в сопротивлении локомотивов и вагонов лесовозных железных дорог узкой колеи, имеющих рессорное подвешивание, с большим коэффициентом трения рессор. Так, для тепловоза ТУ<sup>Г</sup>-4 при  $v = 20-28$  км/час доля  $\omega''_{уд}$  составляет 16—25% и для вагонов-цепов ЭМ-51 при  $v = 10-30$  км/час 16—15% от величин  $\omega'_0$  и  $\omega''_0$ , найденных опытами лаборатории рельсового транспорта ЦНИИМЭ в 1959 г. Сравнение величины  $\omega''_{уд}$  вагонов-цепов ЭМ-51 на Крестецкой и Эстонской дорогах наглядно показывает не только влияние состояния пути на компоненту  $\omega''_0$ , но и направление мероприятий для снижения  $\omega''_0$  и всего удельного сопротивления движению.

Для платформы «Лесосудмашстрой» влияние скорости на  $\omega''_{уд}$  (табл. 1) практически не обнаружено. Здесь сказалось недостаточное количество материала (92 опытные точки), полученного на 6 участках пути различного технического состояния. Малую величину  $\omega''_{уд}$  для платформы «Лесосудмашстрой» (5—8% от  $\omega''_0$ ) следовало ожидать, так как пружинный комплект рессор имеет малый коэффициент трения. Поскольку неровности пути, колес и отклонения последних от правильной формы, а также другие факторы, вызывающие колебания и удары, сохраняются, то и для подвижного состава с чистопружинным и комбинированным подвешиванием сопротивление от колебаний и ударов остается. Очевидно, для такого состава большая часть энергии рассеивается при ударах и меньшая при колебаниях.

Средние значения  $\omega''_{уд}$  для локомотивов Л, ЛВ, ВЛ22<sup>М</sup>, ТЭЗ и двухосного товарного вагона нормальной колеи (табл. 2) при коэффициенте трения рессор  $\mu = 0,3$  определены нами по средним значениям амплитуд и частот колебаний, приведенным в монографии С. С. Крепкогорского [3]. Сопротивление  $\omega''_{уд}$  паровозов Л и ЛВ, двухосного вагона найдены для участка пути с рельсами типа Ia, (приведенный износ головки рельса 3 мм), 1840 шпалами на 1 км и песчаным балластом, электровоза ВЛ22<sup>М</sup> для участка пути в прямой с рельсами типа Р50 длиной 25 м (приведен-

ный износ 1 мм), 1840 шпалами на 1 км и гравийном балласте. Сопротивление  $\omega''_{уд}$  тепловоза ТЭЗ найдено для участков пути с различными типами рельсов и техническим состоянием. Первый участок имел ту же характеристику, что и для электровоза ВЛ22<sup>м</sup>, второй — рельсы типа S49 (приведенный износ 6 мм), 1840 шпал на 1 км и щебеночный балласт.

Таблица 2

Подвижной состав	$v$ , км/час	$z_{ср}$ , мм	$\tau_{ср}$ , 1/сек	$\omega''_{уд}$ , кг/т
Паровоз серии ЛВ . . . . .	23	2,3	1,10	0,39
	43	2,3	1,80	0,37
	63	2,3	3,91	0,53
	80	3,3	4,33	0,67
Паровоз серии Л . . . . .	23	1,9	0,93	0,29
	43	2,1	1,78	0,33
	63	2,5	4,00	0,60
	80	3,0	4,43	0,62
Двухосный вагон . . . . .	23	2,1	0,47	0,16
	43	3,3	0,75	0,22
	63	7,0	0,82	0,35
	80	10,1	0,92	0,46
Тепловоз ТЭЗ Рельс Р50				
кривая $R = 350$ м . . . . .	40	4,0	1,50	0,57
70	4,9	1,53	0,47	
прямая . . . . .	70	3,7	1,31	0,26
100	4,3	1,33	0,22	
Рельс S49				
прямая . . . . .	20	6,0	0,50	0,56
40	6,0	1,05	0,60	
60	7,0	1,55	0,68	
80	8,0	2,05	0,78	
Электровоз ВЛ22 <sup>м</sup> . . . . .	30	4,1	0,79	0,41
50	4,0	1,30	0,40	
70	5,8	1,78	0,56	

Как следует из табл. 2, абсолютные величины  $\omega''_{уд}$  локомотивов и двухосного вагона нормальной колеи весьма значительны и зависят от скорости движения, конструкции и состояния пути. Об относительной доле компоненты  $\omega''_{уд}$  в величине  $\omega'_0$  и  $\omega''_0$  наглядное представление дает сравнение ее с численными значениями основного удельного сопротивления, найденного по эмпирическим формулам.

У электровоза ВЛ22<sup>м</sup> доля  $\omega''_{уд}$  в  $\omega'_0$  по эмпирической формуле в интервале скоростей от 30 до 70 км/час составляет 18—14%, причем численные значения  $\omega'_0$  получены для конструкции пути, обеспечивающей меньшие значения амплитуд и частот колебаний вследствие длины рельсового звена 25 м. Эмпирическая формула основного удельного сопротивления электровоза ВЛ22 получена для рельса Р50 длиной 12,5 м (остальные характеристики одинаковы).

Для паровоза ЛВ относительная доля компоненты  $\omega''_{уд}$  в величине  $\omega'_0$  равна 20—15% в интервале скоростей от 23 до 80 км/час при одинаковой конструкции пути. У тепловоза ТЭЗ при двух секциях на первом участке эта величина составила: на прямом пути при скорости 70—100 км/час — 8—6% и в кривой при скорости 40—70 км/час — 20—10% от значений по эмпирической формуле. На втором участке для

тепловоза ТЭЗ при двух секциях в интервале скоростей 20—80 км/час она оказалась равной 25—20%.

Снижение относительной доли  $\omega''_{уд}$  в основном удельном сопротивлении с ростом скорости движения локомотивов вполне объясняется тем обстоятельством, что ряд других составляющих  $\omega'$ , например, от трения в подшипниках, от сопротивления воздушной среды, от ударов также увеличиваются с повышением скорости. Полученные абсолютные и относительные величины  $\omega''_{уд}$  локомотивов и вагонов, естественно, требуют дополнения и уточнения при дальнейших исследованиях. Однако уже сейчас можно считать установленным ряд таких факторов, как скорость движения, конструкция и состояние пути, оказывающих влияние на сопротивление от колебаний.

**Совместное влияние конструкции и состояния пути на величину  $\omega''_{уд}$**  подтверждается данными для тепловоза ТЭЗ. На прямом участке пути с рельсами типа S49 (приведенный износ полочки 6 мм) основное удельное сопротивление от колебаний при скорости 20—80 км/час в 2—3 раза выше, чем на прямом участке с рельсами типа Р50 с длиной звена 25 м при скорости 70—100 км/час. Для того же тепловоза ТЭЗ на пути с одинаковой характеристикой величина  $\omega''_{уд}$  в кривой при скорости движения 40 и 70 км/час вдвое больше, чем в прямой при скорости 70 и 100 км/час.

Воздействие упомянутых факторов на  $\omega''_{уд}$  вполне закономерно и не противоречит природе возникновения сопротивления от колебаний. Действительно, при различной конструкции, техническом состоянии пути и скорости движения варьируют величины и количество силовых импульсов, передаваемых надрессорному строению со стороны пути, в результате чего изменяются параметры вертикальных колебаний локомотивов и вагонов на рессорах.

Это положение с достаточной убедительностью и полнотой подтверждают материалы С. С. Крепкогорского [3] для подвижного состава нормальной колеи.

При более слабой конструкции и худшем состоянии пути, коротких и изношенных рельсах, кривизне пути в плане и его неравноупругости, росте скорости движения — увеличиваются амплитуды и частоты колебаний надрессорного строения и, как следствие этого, повышаются потери энергии на трение в рессорном подвешивании, которые в процессе движения непрерывно пополняются за счет живой силы поезда или силы тяги локомотива.

При теоретических исследованиях сопротивления движению на железнодорожном транспорте (с целью изыскания мероприятий по его снижению) Секция транспорта АН СССР [1] принимала во внимание сопротивление от воздушной среды, от трения шеек осей в подшипниках, от упругих прогибов пути, от влияния колесных пар, от коничности бандажей колес.

Компоненты сопротивления от колебаний и от ударов не рассматривали, так как заранее было высказано предположение о их несущественной роли.

Материалы, полученные в данной работе, позволяют сделать вывод о том, что при теоретических исследованиях с целью изыскания мероприятий по снижению основного удельного сопротивления необходимо учитывать все факторы, вызывающие его возникновение. Вопрос о численной величине компоненты сопротивления от ударов пока остается открытым, но сравнение составляющей сопротивления от колебаний для пружинных и листовых рессор узкоколейных вагонов (платформа «Лесо-

судмашстрой» и вагоны-сцепы ЭМ-51) позволяет предполагать существенное влияние на сопротивление и ударов подвижного состава.

В связи с осуществлением на железнодорожном транспорте ряда мероприятий абсолютная и относительная величины отдельных составляющих будут изменяться. Так, перевод всего подвижного состава на роликовые подшипники при прежних конструкциях и состоянии пути и подвижного состава повлечет за собой снижение относительной доли составляющей сопротивления от трения шеек осей в подшипниках и повышение доли составляющей от колебаний (также и от ударов).

Дальнейшее теоретическое и экспериментальное изучение компонент сопротивления от колебаний на рессорах и от ударов поможет наметить мероприятия для их снижения и оценить их экономическую эффективность.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Б. Н. Веденисов, А. В. Комаров, С. П. Надежин. Повышение скорости движения, веса составов, мощности и эффективности тяговых средств транспорта. Изд. АН СССР, 1950. [2]. И. С. Горюнов. О методе определения удельного сопротивления от колебаний надрессорного строения локомотивов. Научные доклады высшей школы, «Лесонинженерное дело» № 1, 1959. [3]. С. С. Крепкогорский. Вертикальные колебания надрессорного строения подвижного состава и влияния их на путь. Труды ВНИИЖТ, вып. 152, 1958. [4]. А. И. Логинов. Вертикальные нагрузки, действующие на раму тележки вагона-сцепы при движении. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 3, 1959.

Поступила в редакцию  
2 января 1963 г.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗА ПО ПРОВОЛОЧНОМУ ЛЕСОСПУСКУ

А. Г. ПРОХОРЕНКО

Начальник испытательного полигона новой  
лесозаготовительной техники Станиславского СНХ

Проволочный лесоспуск является одним из упрощенных и облегченных транспортных устройств, применяемых при лесозаготовках в горных условиях, наряду с подвесными установками грузоподъемностью  $2 \div 3 T$ . Несущим элементом лесоспуска является стальная проволока с неподвижно закрепленными концами. По ней под действием собственного веса движутся грузы, состоящие из пачек короткомерных сортиментов, подвешенных на ползунах, изготовляемых из древесины твердых пород или других материалов, вызывающих незначительный износ проволоки.

В лесотехнической литературе имеются лишь краткие сведения о работе однопролетных проволочных лесоспусков, с описанием, в основном, зарубежного опыта их применения.

При решении ряда вопросов, связанных с эксплуатацией лесоспусков и совершенствованием их конструкции, необходимо располагать данными о скорости и времени движения груза. В настоящей статье излагаются результаты теоретических исследований, посвященных определению этих величин.

Движение пачки древесины, подвешенной на ползуне, связано с преодолением сопротивления воздушной среды и трения, возникающего между ползуном и несущей проволокой. В зависимости от условий, для которых проектируют лесоспуск, возможны два случая, определяющие продолжительность действия движущей силы. В первом случае — движение груза под действием силы тяжести происходит на всем протяжении пролета, то есть выполняется условие, которое вытекает из уравнения (3),

$$2H_0 (\operatorname{tg} \alpha - f) > \frac{ql}{\cos \alpha} + P, \quad (1)$$

где  $H_0$  — монтажное натяжение проволоки, кг;

$f$  — коэффициент трения ползуна о проволоку;

$P$  — вес груза, кг;

$\alpha$  — угол наклона хорды пролета, °;

$q$  — вес одного погонного метра проволоки, кг/пог. м;

$l$  — величина пролета, м.

Во втором случае условие (1) справедливо только до точки  $C$  (рис. 1); на дальнейшее продвижение груза расходуется кинетическая

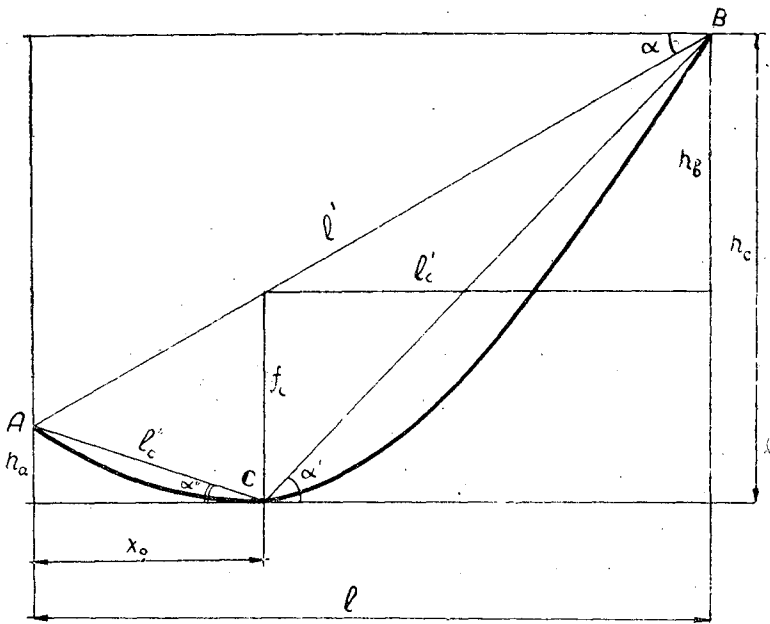


Рис. 1.

энергия, накопленная им за время подхода к точке  $C$ . Этот случай характеризуется неравенством

$$2H_0(\operatorname{tg} \alpha - f) < \frac{ql}{\cos \alpha} + P, \quad (2)$$

а положение точки  $C$  определяется абсциссой  $x_0$ , которую вычисляют по формуле

$$x_0 = \frac{l}{2} \cdot \frac{2H_0(\operatorname{tg} \alpha - f) - \frac{ql}{\cos \alpha} - P}{2(f - \operatorname{tg} \alpha)(H_1 - H_0 - \frac{ql}{\cos \alpha} - P)}, \quad (3)$$

где  $H_1$  — наибольшее усилие в проволоке при положении груза посередине пролета.

Формула (3) действительна для случая  $x_0 < l/2$ .

Для упрощения определения стрелы провеса гибкой нити с закрепленными концами в промежуточных точках  $C$  при  $x_0 < l/2$  принято, что горизонтальная составляющая натяжения  $H \approx H_c$ . В свою очередь, величина натяжения несущей проволоки в точке  $C$ , равная  $H_c = \frac{2x_0}{l}$ .

$(H_1 - H_0) + H_0$ , получена в предположении, что существует линейная зависимость изменения натяжения гибкой нити от  $H_1$  до  $H_0$  при движении груза от  $l/2$  к опоре  $A$ . Такое допущение значительно упрощает задачу определения параметров гибкой нити с удовлетворительной для практических целей точностью. Погрешность при таком вычислении координаты точки  $C$  не превышает 10%. При определении скорости и времени движения груза принято, что груз перемещается по хорде пролета. Такое допущение возможно при незначительной разнице длин гибкой нити и хорды пролета. Так, например, по данным В. К. Качурина [1], для нитей со стрелой провеса  $f_{\max} = \frac{1}{40} l$  разность длин нити и

хорды пролета составляет 0,16%. Коэффициент трения ползуна о проволоку считают величиной постоянной: при наличии смазки, как показали эксперименты, она равна для древесины граба  $f=0,15$ ; бука  $f=0,16-0,17$ .

Известно [2], что при равномерном движении тела обычных размеров со скоростью  $v$  сопротивление воздушной среды выражается формулой  $R=\gamma v^2$ , где  $\gamma$  — величина, пропорциональная плотности  $\rho$  воздушной среды ( $\rho=0,132 \frac{\text{кг}\cdot\text{сек}}{\text{м}^3}$ ) и площади сечения  $s$ , перпендикулярного направлению потока, то есть

$$R = Cpsv^2.$$

Коэффициент  $C$  зависит от формы обдуваемого тела и определяется опытным путем. Для пачек древесины значение  $C$  может быть принято приближенно равным 0,55 — 0,62 [2]; здесь меньшее значение относится к грузам, состоящим из одного бревна. Для неравномерного движения принимаем тот же закон сопротивления, что и для равномерного [2].

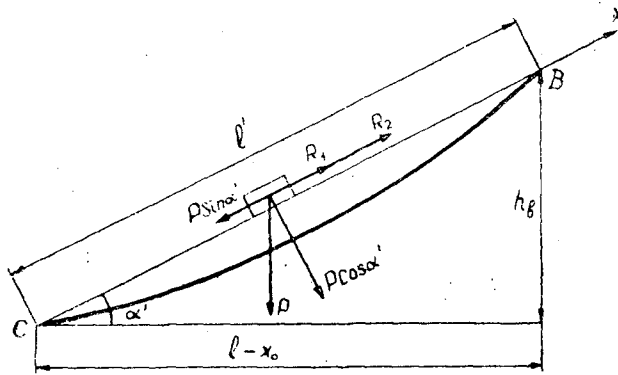


Рис. 2.

Тогда дифференциальное уравнение движения в проекции на ось  $x$  (рис. 2) для случая, характеризуемого неравенством (2), будет иметь вид

$$m\ddot{x} = P \sin \alpha' - R_1 - R_2,$$

где

$$R_1 = \gamma \dot{x}^2; \quad R_2 = P \cos \alpha' f.$$

Заменяв  $P$  на  $mg$ , после преобразования получим

$$\ddot{x} = g (\sin \alpha' - \cos \alpha' f) - \frac{\gamma}{m} \dot{x}^2, \tag{4}$$

где  $g$  — ускорение свободно падающего тела.

Обозначим

$$k = \frac{\gamma}{m} = \frac{Cpsg}{p}, \quad \frac{1}{m},$$

тогда уравнение (4) примет вид

$$\ddot{x} = g (\sin \alpha' - \cos \alpha' f) - k \dot{x}^2. \tag{5}$$

Умножив правую и левую части уравнения (5) на  $dx$ , получим выражение

$$\ddot{x}dx = [g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f) - kx^2] dx. \quad (6)$$

Учитывая, что  $\ddot{x}dx = \dot{x}\dot{x}$ , и отделив переменные, перепишем уравнение (6) так:

$$\frac{\dot{x}dx}{g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f) - kx^2} = dx. \quad (7)$$

Проинтегрировав это уравнение, найдем

$$-\frac{1}{2k} \ln [g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f) - kx^2] = x + C. \quad (8)$$

Начальные условия: при

$$t = 0, x = 0; \dot{x} = v_0, \quad (9)$$

где  $v_0$  — начальная скорость движения груза, м/сек.

Тогда

$$C = -\frac{1}{2k} \ln [g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f) - kv_0^2].$$

Подставив значение  $C$  в уравнение (8), находим

$$x = \frac{1}{2k} \ln \left[ \frac{g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f) - kv_0^2}{g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f) - kx^2} \right]. \quad (10)$$

Решив это уравнение относительно  $x$ , получим

$$\dot{x} = \sqrt{\frac{1}{k} g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f) (1 - e^{-2kx}) + v_0 e^{-2kx}}. \quad (11)$$

Для того чтобы определить скорость движения груза в точке  $C$ , необходимо в уравнение (11) вместо  $x$  подставить  $l'_c$ . Тогда

$$v_c = \sqrt{\frac{1}{k} g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f) (1 - e^{-2kl'_c}) + v_0 e^{-2kl'_c}}, \frac{м}{сек}. \quad (12)$$

После замены в уравнении (12)  $\alpha' = \alpha$  и  $l'_c = l$  получаем формулу для вычисления скорости движения груза на опоре  $A$ , в том случае, когда соблюдается условие (1)

$$v_A = \sqrt{\frac{1}{k} g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f) (1 - e^{-2kl'}) + v_0 e^{-2kl'}}, \frac{м}{сек}. \quad (13)$$

Для определения скорости движения груза от правой опоры  $B$  до точки  $C$  воспользуемся дифференциальным уравнением (5).

Записав  $\ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt}$  и отделив переменные в уравнении (5), находим

$$\frac{d\dot{x}}{g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f) - kx^2} = dt. \quad (14)$$

Проинтегрировав это уравнение, получим

$$\frac{1}{2\sqrt{kg(\sin \alpha' - \cos \alpha' f)}} \ln \frac{\sqrt{k}\dot{x} + \sqrt{g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f)}}{\sqrt{k}\dot{x} - \sqrt{g(\sin \alpha' - \cos \alpha' f)}} = t + C. \quad (15)$$

Воспользовавшись начальными условиями (9), определим  $C$



$$C = \frac{1}{2\sqrt{kg(\sin \alpha' - \cos \alpha'f)}} \ln \frac{\sqrt{k}v_0 + \sqrt{g(\sin \alpha' - \cos \alpha'f)}}{\sqrt{k}v_0 - \sqrt{g(\sin \alpha' - \cos \alpha'f)}}.$$

Подставив в уравнение (15) значение  $C$  и заменив  $\dot{x} = v_c$ , получим выражение для определения времени движения груза от опоры  $B$  до точки  $C$

$$t_c = \frac{1}{2\sqrt{kg(\sin \alpha' - \cos \alpha'f)}} \ln \frac{\sqrt{k}v_c + \sqrt{g(\sin \alpha' - \cos \alpha'f)}}{\sqrt{k}v_c - \sqrt{g(\sin \alpha' - \cos \alpha'f)}} \times \\ \times \frac{\sqrt{k}v_0 - \sqrt{g(\sin \alpha' - \cos \alpha'f)}}{\sqrt{k}v_0 + \sqrt{g(\sin \alpha' - \cos \alpha'f)}} \text{ сек.} \quad (16)$$

Выражение (16) пригодно для определения времени движения груза также и для случая, характеризуемого неравенством (1) после замены  $\alpha' = \alpha$  и  $v_c = v_A$ .

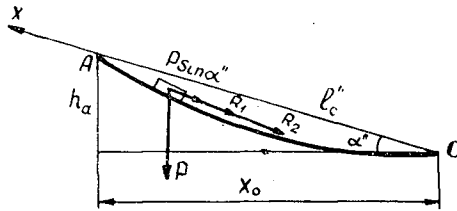


Рис. 3.

Для определения скорости движения груза на опоре  $A$ , к которой он подходит за счет кинетической энергии, составим новое дифференциальное уравнение в проекции на ось  $x$ , совпадающей с хордой  $l'_c$  (рис. 3)

$$m\ddot{x} = -Ps \sin \alpha'' - P \cos \alpha''f - \gamma \dot{x}^2 \quad (17)$$

или

$$\ddot{x} = -g(\sin \alpha'' + \cos \alpha''f) - k\dot{x}^2. \quad (18)$$

Умножив левую и правую части уравнения (18) на  $dx$  и отделив переменные, получим

$$\frac{\dot{x}d\dot{x}}{g(\sin \alpha'' + \cos \alpha''f) + k\dot{x}^2} = -dx. \quad (19)$$

Проинтегрировав это уравнение, найдем

$$\frac{1}{2k} \ln [g(\sin \alpha'' + \cos \alpha''f) + k\dot{x}^2] = -x + C. \quad (20)$$

Начальные условия: при

$$t = 0; x = 0; \dot{x} = v_c. \quad (21)$$

Тогда

$$C = \frac{1}{2k} \ln [g(\sin \alpha'' + \cos \alpha''f) + kv_c^2] = -x.$$

Подставив в уравнение (20) значение  $C$ , получаем

$$\frac{1}{2k} \ln \left[ \frac{g(\sin \alpha'' + \cos \alpha''f) + k\dot{x}^2}{g(\sin \alpha'' + \cos \alpha''f) + kv_c^2} \right] = -x,$$

откуда

$$\dot{x} = \sqrt{e^{-2kx} v_C^2 - \frac{1}{k} g (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f) (1 - e^{-2kx})}. \quad (22)$$

Для того чтобы найти скорость на опоре  $A$ , необходимо в уравнение (22) подставить  $x = l''_C$

$$v'_A = \sqrt{e^{-2kl''_C} v_C^2 - \frac{1}{k} g (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f) (1 - e^{-2kl''_C})} \frac{M}{сек}. \quad (23)$$

Для определения времени движения груза от точки  $C$  до опоры  $A$  воспользуемся дифференциальным уравнением (18).

Записав  $\ddot{x} = \frac{dx}{dt}$  и отделив переменные, получим

$$\frac{dx}{-g (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f) - kx^2} = dt$$

или

$$\frac{dx}{g (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f) + kx^2} = -dt. \quad (24)$$

Проинтегрировав это уравнение, найдем

$$\frac{1}{k} \sqrt{\frac{k}{g (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f)}} \operatorname{arctg} x \sqrt{\frac{k}{g (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f)}} = -t + C. \quad (25)$$

Воспользовавшись начальными условиями (21), определим  $C$

$$C = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{k}{g (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f)}} \operatorname{arctg} v_C \sqrt{\frac{k}{g (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f)}}$$

Подставив в уравнение значение  $C$  и произведя замену  $\dot{x} = v'_A$  получим уравнение для определения времени движения груза от точки  $C$  до опоры  $A$

$$t'_A = \frac{1}{\sqrt{kg (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f)}} \left[ \operatorname{arctg} v_C \sqrt{\frac{k}{g (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f)}} - \operatorname{arctg} v'_A \sqrt{\frac{k}{g (\sin \alpha'' + \cos \alpha'' f)}} \right] \text{сек}. \quad (26)$$

Встречающиеся в расчете величины  $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,  $l'_C$  и  $l''_C$  для случая  $x_0 < \frac{l}{2}$  (рис. 1) определяются из следующих выражений:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} \alpha + \frac{f_C}{l - x_0}; \quad (27)$$

$$l'_C = \frac{l - x_0}{\cos \alpha'}; \quad (28)$$

$$\operatorname{tg} \alpha'' = \frac{f_C}{x_0} - \operatorname{tg} \alpha; \quad (29)$$

$$l''_C = \frac{x_0}{\cos \alpha''}. \quad (30)$$

Величина  $f_c$  приближенно равна

$$f_c \approx \frac{qx_0(l-x_0)}{2H_C \cos \alpha} + \frac{Px_0(l-x_0)}{H_C l}. \quad (31)$$

Теоретические выводы полностью подтверждаются опытными данными, полученными автором.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. К. Качурин. Гибкие нити с малыми стрелками. ГИТТЛ, М., 1956.  
[2] А. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. Курс теоретической механики, ч. II, Динамика. ГОНТИ НКТП СССР. Л.-М., 1938.

Поступила в редакцию  
12 декабря 1962 г.



Определим истинное давление на втулку подшипника в любой точке соприкосновения ее с валом, исходя из деформации стенки втулки (в пределах пропорциональности) в направлении нагрузки. Для этого проведем оси координат через центр втулки подшипника, причём одну из них  $O-U$  направим параллельно действию нагрузки (рис. 1).

Под действием нагрузки вал, сжимая стенку втулки (или вкладыша), опустится на некоторую величину  $\lambda$ ; для всех точек соприкосновения вала с втулкой его перемещение — величина постоянная ( $BB_1 = AA_1 = CC_1$ ).

Напишем уравнение окружности втулки по внутреннему диаметру

$$x^2 + y^2 = r^2$$

и по внешнему

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

«Реактивная» толщина  $h$  стенки втулки (размер стенки по вертикали) изменяется в зависимости от угла  $\alpha$ , то есть  $h = f(\alpha)$ .

При  $x = X$

$$r \cdot \sin \alpha = R \sin \beta;$$

$$y = r \cdot \cos \alpha;$$

$$Y^2 = R \cdot \cos \beta.$$

Тогда реактивная толщина стенки втулки

$$h = Y - y = R \cos \beta - r \cos \alpha. \quad (4)$$

Так как

$$\sin \beta = \frac{r}{R} \sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \beta},$$

то

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \sin^2 \alpha}.$$

Подставив значение  $\cos \beta$  в формулу (4), получим

$$h = R \sqrt{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \sin^2 \alpha} - r \cos \alpha.$$

После преобразований

$$h = r \left( \frac{R}{r} \sqrt{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \sin^2 \alpha} - \cos \alpha \right).$$

Обозначив  $R/r = K$ , получим следующее выражение для  $h$ :

$$h = r (\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha). \quad (5)$$

Как видно из формулы (5), реактивная толщина стенки втулки — величина переменная и зависит от угла радиус-вектора.

При  $\alpha = \frac{\pi}{2}$

$$h = r \sqrt{K^2 - 1} = \sqrt{R^2 - r^2};$$

при  $\alpha = 0$

$$h = r(K - 1) = R - r.$$

Считая, что абсолютная деформация стенки втулки ( $\Delta h$ ) не превышает предела пропорциональности при минимальной ее толщине, то есть при  $\alpha = 0$ , получим относительную деформацию стенки для любого угла

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta h}{r} \cdot \frac{1}{\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha} \quad (6)$$

Согласно закону Гука, нормальное напряжение в любой точке соприкосновения вала с втулкой

$$\sigma_\alpha = \varepsilon E = \frac{\Delta h}{r} \cdot \frac{E}{\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha} \quad (7)$$

где  $E$  — модуль упругости древесины втулки.

Из формулы (7) следует, что нормальное напряжение в стенке втулки зависит от угла радиус-вектора  $\alpha$  и отношения величины внешнего радиуса  $K$  к внутреннему  $r$ .

При  $\alpha = 0$

$$\sigma_{max} = \frac{\Delta h}{R - r} \cdot E, \quad (8)$$

при  $\alpha = \frac{\pi}{2}$

$$\sigma_{min} = \frac{\Delta h}{\sqrt{R^2 - r^2}} \cdot E. \quad (9)$$

Отношение между максимальным и минимальным напряжениями стенки втулки

$$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}} = \frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{R - r} = \sqrt{\frac{K + 1}{K - 1}}. \quad (10)$$

При небольшой толщине стенки втулки (когда  $K$  мало отличается от 1) разница в напряжениях  $\sigma_{max}$  и  $\sigma_{min}$  достигает значительной величины; с увеличением же ее толщины разница уменьшается (рис. 2).

Для определения связи между нормальным напряжением  $\sigma_\alpha$  на сжатие стенки втулки и давлением по вертикали  $q_\alpha$  на цилиндрическую поверхность втулки выделим элементарную призмочку прямоугольного сечения в стенке втулки под углом  $\alpha$  к радиус-вектору и стягиваемую углом  $d\alpha$  (рис. 3).

Из условия равновесия выделенного элемента можно написать

$$\sigma_\alpha \cdot dF = q_\alpha \cdot \frac{dF}{\cos \alpha},$$

откуда

$$q_\alpha = \sigma_\alpha \cdot \cos \alpha.$$

Подставив значение  $\sigma_\alpha$  из формулы (7), получим

$$q_\alpha = \frac{\Delta h}{r} \cdot \frac{E \cdot \cos \alpha}{\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha}. \quad (11)$$

При  $\alpha = 0$

$$q = \sigma_{max} = \frac{\Delta h}{R - r} \cdot E. \quad (12)$$

Определим грузоподъемность подшипника, исходя из максимально допустимой деформации стенки втулки  $\Delta h$  в направлении нагрузки; для

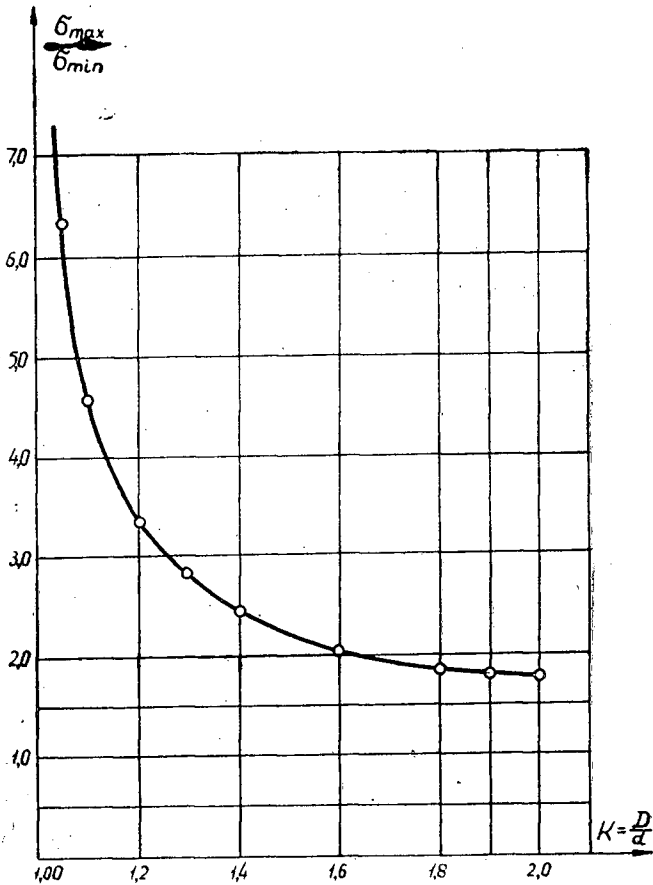


Рис. 2.

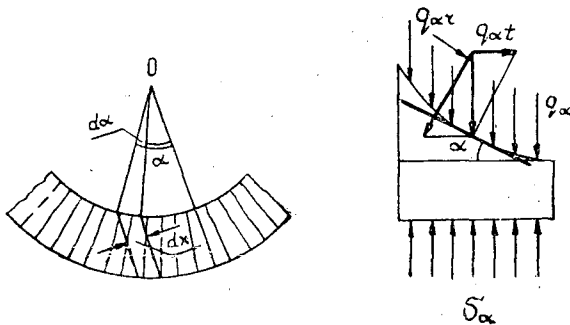


Рис. 3.

этого выделим элементарную площадку под углом  $\alpha$  радиус-вектора и ограниченную центральным углом  $d\alpha$  (рис. 3); угол обхвата шейки вала  $2\varphi$  примем равным  $180^\circ$ .

Обозначим вертикальную силу, действующую на эту площадку,

$$dP = q_\alpha \cdot r \cdot d\alpha. \quad (13)$$

Подставив в это уравнение значение  $q_\alpha$  из формулы (11), получим

$$dP = \Delta h \cdot E \cdot \frac{\cos \alpha \cdot d\alpha}{\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha - \cos \alpha}} \quad (14)$$

Нагрузка на всю втулку

$$P = 2\Delta h E \int_0^{\pi/2} \frac{\cos \alpha \cdot d\alpha}{\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha - \cos \alpha}} \quad (15)$$

После преобразований

$$P = \frac{2\Delta h \cdot E}{K^2 - 1} \int_0^{\pi/2} (\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} \cdot \cos \alpha + \cos^2 \alpha) d\alpha \quad (16)$$

Первый интеграл

$$I_1 = \int \sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} \cdot \cos \alpha d\alpha = K \int \sqrt{1 - \left(\frac{\sin \alpha}{K}\right)^2} \cdot \cos \alpha d\alpha.$$

После подстановки выражений

$$\frac{\sin \alpha}{K} = y \text{ и } \cos \alpha d\alpha = K dy$$

формула принимает вид

$$I_1 = K^2 \int \sqrt{1 - y^2} dy.$$

После преобразований

$$I_1 = K^2 \int \left( \frac{dy}{\sqrt{1 - y^2}} - \frac{y^2 dy}{\sqrt{1 - y^2}} \right) = K^2 \arcsin y - K^2 \int \frac{y^2 dy}{\sqrt{1 - y^2}} \quad (17)$$

Решая интеграл по частям в формуле (17), получим

$$-K^2 \int \frac{y^2 dy}{\sqrt{1 - y^2}} = K^2 y \sqrt{1 - y^2} - K^2 \int \sqrt{1 - y^2} dy = K^2 y \sqrt{1 - y^2} - I_1 \quad (18)$$

После подстановки выражения (18) в (17)

$$I_1 = \frac{K^2}{2} (\arcsin y + y \sqrt{1 - y^2}).$$

Заменив  $y$  на  $\frac{\sin \alpha}{K}$ , получим

$$I_1 = \frac{K^2}{2} \left[ \arcsin \left( \frac{\sin \alpha}{K} \right) + \frac{\sin \alpha}{K^2} \sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} \right] \quad (19)$$

Второй интеграл в формуле (16)

$$I_2 = \int \cos^2 \alpha d\alpha = \frac{1}{2} (\sin \alpha \cos \alpha + \alpha) \quad (20)$$

Учитывая уравнения (19) и (20), получим из формулы (16) после подстановки пределов

$$P = \frac{\Delta h \cdot E}{K^2 - 1} \left( K^2 \arcsin \frac{1}{K} + \sqrt{K^2 - 1} + \pi/2 \right) \quad (21)$$

Это и есть искомое выражение для определения грузоподъемности подшипника. Если считать, что давление от шейки вала на втулку подшипника передается по закону косинуса, то грузоподъемность подшипника в этом случае



$$P_1 = 2rq \int_0^{\pi/2} \cos^2 \alpha d\alpha. \quad (22)$$

Так как

$$\int_0^{\pi/2} \cos^2 \alpha d\alpha = \pi/4,$$

то

$$P_1 = \frac{\pi}{2} rq. \quad (23)$$

Если вместо  $q$  подставим его значение через  $\Delta h$  из формулы (12), то

$$P_1 = \frac{\pi}{2(K-1)} \cdot \Delta h \cdot E. \quad (24)$$

Отношение величин грузоподъемности, найденных по формуле (21) и (24),

$$P:P_1 = \frac{2}{\pi(K+1)} \left( K^2 \arcsin \frac{1}{K} + \sqrt{K^2 - 1} + \frac{\pi}{2} \right). \quad (25)$$

В табл. 1 приведены значения отношения  $P:P_1$  для разных  $K$ .

Таблица 1

$K$	1,17	1,20	1,25	1,33	1,50
$P:P_1$	1,05	1,055	1,079	1,082	1,10

Из таблицы видно, что грузоподъемность подшипника, найденная по деформациям, превышает грузоподъемность, определяемую обычным способом; с увеличением толщины стенки втулки эта разница увеличивается.

Исходя из найденной по деформации грузоподъемности подшипника, определим связь между  $q$  и  $q_{\text{ср}}$ ; для этого разделим правую и левую части уравнения (21) на  $d$

$$\frac{P}{d} = q_{\text{ср}} = \frac{\Delta h \cdot E \cdot r}{2(R^2 - r^2)} \left( K^2 \arcsin \frac{1}{K} + \sqrt{K^2 - 1} + \frac{\pi}{2} \right). \quad (26)$$

Заменив в этом выражении

$$\frac{\Delta h \cdot E}{R - r} = q,$$

получим искомую зависимость

$$q = \frac{2(K+1)}{K^2 \arcsin \frac{1}{K} + \sqrt{K^2 - 1} + \frac{\pi}{2}} \cdot q_{\text{ср}} = C q_{\text{ср}}. \quad (27)$$

Как видно из последнего равенства, коэффициент  $C$ , связывающий  $q$  и  $q_{\text{ср}}$ , — величина переменная и зависит от  $K$ . В табл. 2 дано значение  $C$  для нескольких  $K$ .

Таблица 2

$K$	1,10	1,17	1,20	1,25	1,33	1,50
$C$	1,23	1,213	1,21	1,18	1,178	1,16

Как следует из табл. 2, для втулки одного и того же внутреннего диаметра давление распределяется тем равномерней по диаметру, чем толще ее стенки.

При одной и той же толщине  $h$  стенки втулки  $K$  уменьшается с увеличением  $d$  по закону гиперболы

$$K = \frac{h}{r} + 1. \quad (28)$$

Последнее уравнение получено из равенства

$$\frac{R-r}{r} = \frac{h}{r} = K - 1.$$

Влияние угла обхвата  $2\varphi$  на грузоподъемность подшипника определяется по следующим формулам из уравнений (15) и (22):

$$P = 2\Delta h E \int_0^{\varphi} \frac{\cos \alpha dx}{\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha - \cos \alpha}};$$

$$P_1 = \frac{2\Delta h E}{K-1} \int_0^{\varphi} \cos^2 \alpha dx.$$

После интегрирования

$$P = \frac{\Delta h E}{K^2 - 1} \left[ K^2 \arcsin \left( \frac{\sin \alpha}{K} \right) + \sin \alpha \sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} + \right. \\ \left. + \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \right]; \quad (29)$$

$$P_1 = \frac{\Delta h E}{K-1} \left[ \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \right]. \quad (30)$$

Приняв

$$\frac{\Delta h E}{K-1} = 1,$$

получим значения  $P$  и  $P_1$  при разных углах обхвата (табл. 3).

Как видно из табл. 3, характер изменения грузоподъемности подшипника в зависимости от угла обхвата практически одинаков как при определении давления по косинусу, так и по деформации.

С увеличением толщины стенки втулки повышается и равномерность изменения грузоподъемности подшипника в зависимости от угла обхвата.

Сравним радиальные давления  $q_{ar}$  и «распирающие»  $q_{at}$ , действующие на втулку подшипника, в случае определения давления по деформациям и по косинусу (рис. 3).

Таблица 3

Угол обхвата, °	Единицы измерения	Грузоподъемность втулки, определенная		
		по косинусу	по деформациям при $K$	
			1,17	1,50
30	$\frac{\Delta h \cdot E}{K-1}$	0,51	0,52	0,51
	%	32,4	31,4	29,5
60	$\frac{\Delta h \cdot E}{K-1}$	0,95	0,97	0,96
	%	60,5	59,0	55,4
90	$\frac{\Delta h \cdot E}{K-1}$	1,28	1,30	1,32
	%	81,5	79,0	76,0
120	$\frac{\Delta h \cdot E}{K-1}$	1,48	1,52	1,57
	%	94,5	92,0	91,0
150	$\frac{\Delta h \cdot E}{K-1}$	1,56	1,62	1,70
	%	99,5	98,0	98,0
180	$\frac{h \Delta \cdot E}{K-1}$	1,57	1,65	1,73
	%	100	100	100

Примечание. Грузоподъемность подшипника в обоих случаях принята за 100.

При определении давления по деформациям на основе формулы (11)

$$q_{ar} = \frac{q_{\alpha}}{\cos \alpha} = \frac{\Delta h E}{r} \cdot \frac{1}{\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha}; \quad (31)$$

$$q_{at} = q_{\alpha} \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta h \cdot E}{r} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha}, \quad (32)$$

а при определении давления по косинусу на основе формулы (12)

$$q'_{ar} = q \cos \alpha = \frac{\Delta h E}{R-r} \cos \alpha = \frac{\Delta h E}{r(K-1)} \cos \alpha; \quad (33)$$

$$q'_{at} = q'_{ar} \cdot \sin \alpha = \frac{\Delta h E}{R-r} \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{\Delta h E}{r(K-1)} \sin \alpha \cos \alpha. \quad (34)$$

Для удобства сравнения будем измерять все эти давления в одних и тех же единицах, то есть  $\frac{\Delta h E}{r}$  примем за единицу, тогда

$$q_{ar} = \frac{1}{\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha} \quad \text{и} \quad q_{at} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{K^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha}$$

и

$$q'_{ar} = \frac{\cos \alpha}{K-1} \quad \text{и} \quad q'_{at} = \frac{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}{K-1}.$$

На рис. 4 приведены зависимости от угла радиус-вектора  $\alpha$  относительных значений радиальных  $q_{ar}$  и распирающих  $q_{at}$  давлений опре-

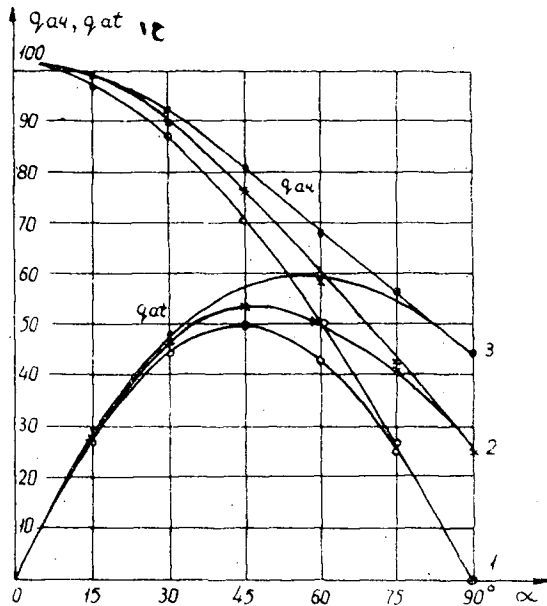


Рис. 4.

деленных: по косинусу (1) и по деформациям при  $K=1,17$  (2) и  $K=1,50$  (3).

В табл. 4 даны абсолютные значения этих давлений.

Таблица 4

Радиальные  $q_{ar}$  и распирающие  $q_{at}$  давления;  
единица измерения  $\frac{\Delta h \cdot E}{r}$

Угол радиус-вектора	Давления по деформациям		Давления по косинусу	
	$q_{ar}$	$q_{at}$	$q_{ar}$	$q_{at}$

$K = 1,17$

0	5,88	0	5,88	0
15	5,75	1,49	5,69	1,47
30	5,15	2,58	5,10	2,53
45	4,38	3,10	4,16	2,94
60	3,44	2,98	2,94	2,53
75	2,49	2,41	1,52	1,47
90	1,64	1,64	0,0	0,0

$K = 1,50$

0	2,0	0,0	2,0	0,0
15	1,96	0,51	1,93	0,5
30	1,84	0,92	1,73	0,86
45	1,63	1,15	1,42	1,0
60	1,39	1,20	1,00	0,86
75	1,13	1,09	0,52	0,5
90	0,89	0,89	0,0	0,0

Примечание. При определении относительной величины распирающего давления за 100 взята величина радиального давления при  $\alpha=0^\circ$ .

Как видно из приведенных данных, радиальное давление, найденное по косинусу, изменяется более резко в зависимости от угла радиус-вектора по сравнению с давлением, найденным по деформациям; в свою очередь, последнее (при одном и том же внутреннем диаметре) зависит от толщины стенки втулки: чем толще стенка втулки, тем плавнее изменяется радиальное давление в зависимости от угла радиус-вектора и тем больше разница в давлениях, найденных по деформациям и по косинусу.

При одной и той же абсолютной деформации с увеличением толщины стенки втулки грузоподъемность подшипника уменьшается.

Распирающие давления во всех исследованных случаях при угле обхвата  $2\varphi \leq 60^\circ$  практически одинаковы; с увеличением угла обхвата распирающие давления изменяются по-разному: чем толще стенка втулки, тем больше разница между распирающими давлениями, найденными по деформациям и по косинусу. Относительная величина распирающего давления, найденного по косинусу, достигает максимальной величины при угле обхвата  $2\varphi = 90^\circ$  и не зависит от толщины стенки втулки; при угле обхвата  $2\varphi = 180^\circ$  распирающее давление равняется нулю.

Относительная величина распирающего давления, найденного по деформациям, достигает максимума при угле обхвата  $2\varphi \geq 90^\circ$ ; с увеличением толщины стенки втулки угол обхвата с максимальным распирающим давлением увеличивается.

При угле обхвата  $2\varphi = 180^\circ$  распирающее давление составит, в зависимости от толщины стенки от  $1/2$  до  $3/4$  величины максимального распирающего давления.

Выясним влияние способа прессования древесины на деформацию втулок при работе подшипника; разберем втулки контурного прессования, торцевого и поперечного гнущя с прессованием, в первом случае — осевом, а во втором — радиальном.

У втулок контурного прессования под влиянием давления по вертикали древесина на всем угле обхвата будет подвергаться сжатию поперек волокон. Так как модуль упругости и прочность древесины на растяжение поперек волокон незначительны, то можно считать, что деформация на сжатие поперек волокон при любом угле радиус-вектора мало влияет на деформацию соседнего участка.

Учитывая это, можно сделать вывод, что полученные формулы для определения грузоподъемности втулок из древесины контурного прессования применимы полностью.

У втулок торцевого гнущя направление волокон по отношению к давлению по вертикали изменяется по всему углу обхвата: при угле  $\alpha = 0^\circ$  (рис. 5) древесина втулки подвергается сжатию вдоль волокон (на торец), при  $\alpha > 0^\circ$  — под углом  $\alpha$  к волокнам; в последнем случае

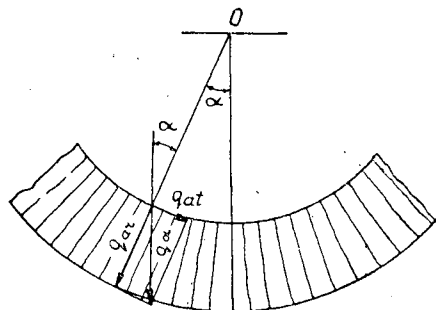


Рис. 5

давление по вертикали  $q_a$  может быть разложено на две составляющие:  $q_{ar}$  — по радиусу и  $q_{at}^0$  — по касательной к шипу вала

$$q_{ar} = q_a \cdot \cos \alpha \text{ и } q_{at}^0 = q_a \sin \alpha.$$

Под влиянием составляющей  $q_{ar}$  древесина втулки подвергается сжатию вдоль волокон, а под влиянием  $q_{at}^0$  — сжатию поперек волокон. В зоне соприкосновения шипа с втулкой древесина обычно имеет максимальную степень прессования (для березы  $\epsilon = 0,50-0,55$  и для осины  $\epsilon = 0,65-0,70$ ), а потому можно считать, что прочность древесины втулки как в радиальном направлении, так и в тангентальном практически одинакова.

Деформация древесины под любым углом радиус-вектора практически не оказывает влияния на деформацию соседних участков втулки торцевого гнущего; это явление можно объяснить теми же факторами, что и в предыдущем случае.

Исходя из всего этого, можно прийти к выводу, что грузоподъемность втулок торцевого гнущего также может быть определена по деформациям.

У втулок поперечного гнущего деформация сжатия наиболее напряженных участков передается на соседние менее напряженные участки, так как модуль упругости и прочность при растяжении вдоль волокон значительно выше, чем поперек волокон.

В результате такой деформации фактический угол обхвата у втулки поперечного гнущего будет меньше, чем у втулок торцевого гнущего и контурного прессования; в данном случае в наиболее напряженных участках втулки будет наблюдаться явление, напоминающее деформацию балочки, подвергнутой местной смятию поперек волокон.

Втулки поперечного гнущего, как правило, имеют стенки небольшой толщины (3—5 мм), а потому при нормальном объемном весе гнуто-прессованной древесины ( $\gamma = 1,1-1,2 \text{ Г/см}^3$ ) влияние местных деформаций наиболее напряженных участков на соседние, менее напряженные, практически весьма незначительно. Поэтому втулки поперечного гнущего можно рассчитывать по деформациям.

При работе втулки из прессованной древесины в паре со стальным шипом истирание трущейся поверхности втулки происходит, в основном, при  $t \leq 100^\circ$  за счет срезания древесины микронеровностями шипа.

Если рассматривать с этой точки зрения процесс истирания (износа) втулки при работе подшипника, то можно прийти к выводу, что процесс срезания древесины с трущейся поверхности втулки контурного прессования и торцевого гнущего остается неизменным при любом угле поворота шипа: в первом случае происходит резание поперек волокон, во втором — в торец; что же касается втулок поперечного гнущего, то в этом случае процесс резания протекает более сложно.

По мере истирания втулки из древесины поперечного гнущего происходит перерезание волокон древесины под некоторым небольшим углом, причем при «набегании» шипа на втулку будет происходить резание по волокну, а при «подъеме» — резание против волокна.

На участке, ограниченном углом  $\varphi$ , вправо от радиус-вектора с максимальным давлением происходит резание по волокну; а влево — резание против волокна.

При резании по волокну, как известно, образуется сливная стружка без всяких вырывов, а при резании против волокна ее образование сопровождается вырывами и отколами древесины с одновременным дроблением стружки, а потому сопротивление резанию в первом случае бу-

дет меньше, чем во втором. Аналогичное явление, только в значительно уменьшенном виде, происходит и при истирании втулки поперечного гнущего.

Переменное сопротивление резанию древесины трущейся поверхности втулки, несомненно, сказывается и на силе трения при работе подшипника. Есть все основания полагать, что между сопротивлением срезу древесины трущейся поверхностью втулки и силой трения существует прямая связь, при прочих равных условиях работы подшипника (температура, давление, смазка).

Чем крупнее неровности на шейке вала, тем больше разница в силах трения на участках втулки вправо и влево от радиус-вектора с максимальным давлением. Такое изменение силы трения в зоне сопряженных поверхностей втулки и шипа будет вызывать вибрацию вала, что отрицательно скажется на точности работы станка.

Учитывая эту особенность работы втулки поперечного гнущего, следует предъявлять высокие требования к обработке трущейся поверхности вала и к выбору породы дерева; большой объемный вес прессованной древесины поперечного гнущего ( $\gamma = 1,30—1,35 \text{ Г/см}^3$ ) также будет играть положительную роль в сглаживании разницы в силах трения вправо и влево от радиус-вектора с максимальным давлением.

При выборе породы дерева для втулок торцевого гнущего следует отдавать предпочтение древесине с равномерным строением и высокой прочностью на скалывание и раскалывание как в радиальной, так и в тангентальной плоскости; древесина с такими свойствами при обработке обычно не дает защепок.

В процессе работы подшипника тонкий слой древесины трущейся поверхности втулки под влиянием нагрева и давления несколько уплотняется с одновременной пропиткой смазкой. Чем выше давление и температура древесины в процессе работы подшипника, тем большую плотность приобретает древесина трущегося слоя втулки. Такое качественное изменение рабочей поверхности втулки способствует повышению ее износостойкости. Втулки торцевого гнущего в этом отношении превосходят втулки контурного прессования и поперечного гнущего.

### Выводы

Пользуясь определением грузоподъемности подшипника по деформации стенки втулки из прессованной древесины, можно решить следующие вопросы:

- а) выбрать рациональный угол обхвата шейки вала;
- б) определить конструктивные элементы втулки (вкладыша) подшипника в зависимости от допустимой деформации при заданном давлении;
- в) установить способ прессования древесины на подшипники при заданных условиях работы.

## УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ЧИСЛЕ ЦИКЛОВ

А. А. ПОЗДНЯКОВ

И. о. доцента

(Сибирский технологический институт)

В настоящее время в машиностроении все более широкое применение находит древесина: натуральная, пропитанная в масле (применяется в подшипниках с небольшими удельными давлениями); прессованная, из которой изготовляют многие детали [2]; древесно-слоистые пластики.

Ранее отмечалось [3], что древесина имеет две крайние границы прочности: статическую и усталостную. Первую из них оценивают пределами прочности в осредненных напряжениях, определяемых методами сопротивления материалам; вторую — возникающими в образце максимальными напряжениями, которые определяют методами теории упругости анизотропного тела. Следовательно, величина истинного предела выносливости древесины должна быть подсчитана в максимальных напряжениях при базе испытаний в 50 миллионов циклов.

Древесина — материал анизотропный; прочность ее в различных направлениях по отношению к направлению волокон различна. У деревянного бруса можно указать три главных направления прочности, по которым механические характеристики можно считать постоянными: вдоль волокон, радиальное и тангентальное. Таким образом, древесина представляет собой тело ортогональной схемы анизотропии, или ортотропное тело. Показатели статической прочности, пределы прочности, подсчитанные в осредненных напряжениях, для ортотропного тела — величины тензориальные и определяются тензором 4-го ранга [1], а их изменение в различных направлениях по отношению к направлению волокон может быть представлено формулами преобразования компонент этого тензора при повороте осей координат.

Тем же самым зависимостям подчиняются и показатели усталостной прочности, истинные пределы выносливости (в максимальных напряжениях), возникающие в детали [3], то есть эффективный коэффициент концентрации напряжений для древесины при достаточно большом числе циклов приближается к теоретическому коэффициенту концентрации напряжений.

Срок службы деталей, изготовленных из древесины, обычно не велик. В течение этого срока деталь редко получит  $5 \cdot 10^7$  циклов изменения напряжений. Пределы выносливости деревянных образцов, испытанных в различных структурных направлениях (в максимальных напряжениях), подчиняются тензориальным зависимостям только при достаточно большом числе циклов изменения напряжений (около  $5 \cdot 10^7$ ) [3]. При



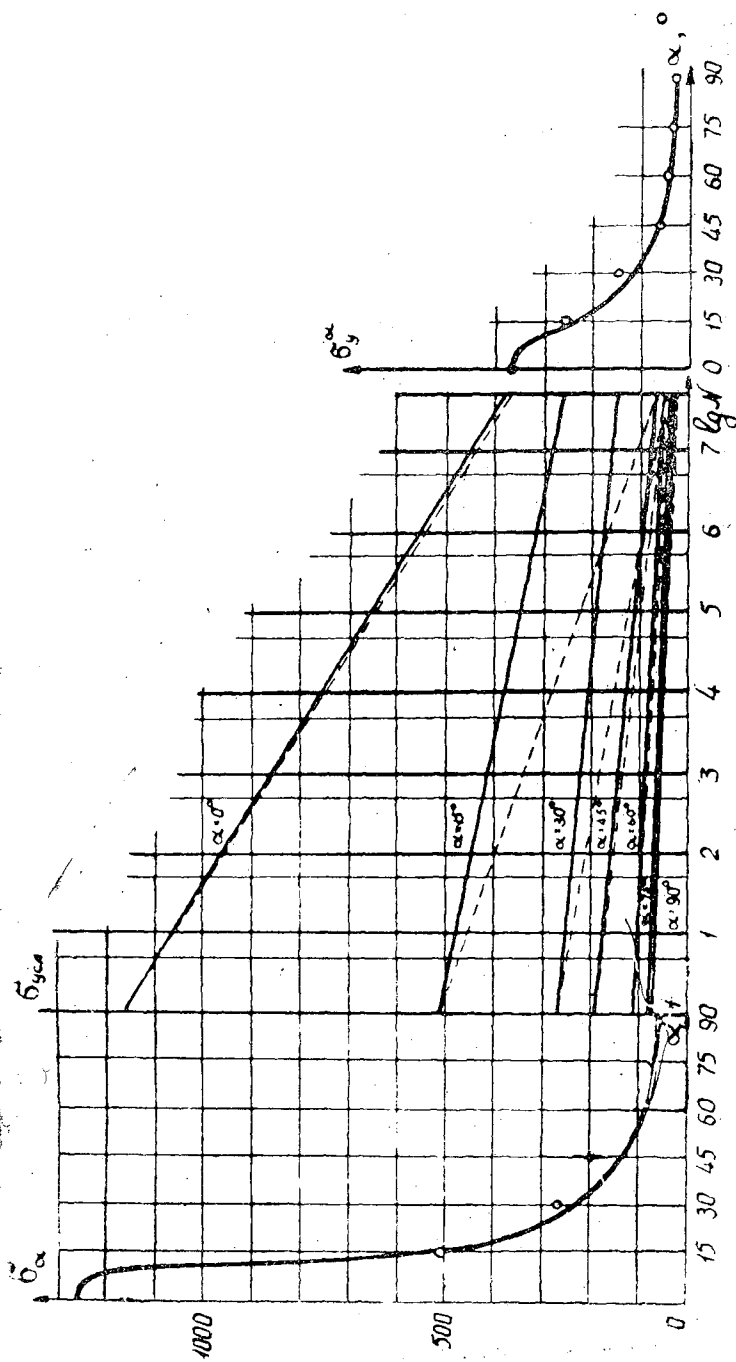


Рис. 1.

меньшем числе циклов они все больше и больше отклоняются от такого вида зависимости. Пределы же выносливости (в осредненных напряжениях, определяемых элементарными формулами сопротивления материалов), наоборот, приближаются к этой зависимости, пока при числе циклов  $N = 1$  не совпадут с тензориальной кривой пределов прочности.

Очевидно, что усталостные разрушения при промежуточных числах циклов подчиняются тем же зависимостям, но эффективные коэффициенты концентрации напряжений слишком далеки от теоретических, поэтому применение теории упругости анизотропных тел в этом случае становится неправомерным. Здесь определение напряжений следует производить по методу сопротивления материалов, умножая полученные осредненные напряжения на соответствующий эффективный коэффициент концентрации напряжений. Величины этих коэффициентов будут меняться при изменении базы испытаний и ориентировки волокон древесины по отношению к плоскости действия сил. Получить их можно путем сравнения результатов испытаний на усталость гладких образцов, лишенных концентрации напряжений, и образцов с изучаемым концентратором напряжений.

Проведение подобных испытаний чрезвычайно затруднено особенностью деформирования анизотропных материалов. Даже в условиях нагружения, соответствующего чистому изгибу, у образцов (с расположением волокон под углом к плоскости действия сил) распределения напряжений по ширине образца крайне неравномерны из-за стеснения угловых деформаций на торцах образца [4]. В результате этого стеснения имеет место концентрация напряжений в угловых точках образца.

Влияние концентрации напряжений можно оценить, построив диаграммы (в полулוגарифмической системе координат) усталостных испытаний в условных напряжениях, соответствующих предполагаемому эффективному коэффициенту концентрации напряжений при ограниченном числе циклов испытания.

Построим диаграммы усталостных испытаний для параллельной фанеры, изготовленной по специальному заказу Ижорским фанерным заводом. Эта фанера, склеенная из восьми слоев березового шпона так, что волокна всех слоев шпона параллельны друг другу, выбрана как удачная модель древесного анизотропного материала с резко выраженной ортогональной схемой анизотропии.

Используя результаты статических и усталостных испытаний параллельной фанеры, приведенные в предыдущей работе [3], мы построили диаграммы усталостных испытаний для различно ориентированных образцов в условных напряжениях (рис. 1).

В левой части рис. 1 изображена кривая изменения пределов прочности параллельной фанеры для различно ориентированных образцов. Нулевым углом принято считать, когда направление волокон совпадает с плоскостью действия внешних сил. Точками изображены показатели усталостной прочности (при  $N = 1$ ), подсчитанные по корреляционным уравнениям диаграмм в осредненных напряжениях; они близко совпадают с величинами пределов прочности, также подсчитанными в осредненных напряжениях.

В правой части рис. 1 изображена кривая изменения пределов выносливости (при  $N = 5 \cdot 10^7$ ) для различно ориентированных образцов, построенная по тензориальной зависимости. Точками показаны величины пределов выносливости (при  $N = 5 \cdot 10^7$ ), подсчитанные по корреляционным уравнениям усталостных диаграмм в максимальных напряжениях. В средней части сплошными линиями изображены диаграммы усталостных испытаний (в условных напряжениях, соответствующих предпо-

лагаемому эффективному коэффициенту концентрации напряжений при числе циклов  $N$ ) для случая концентрации напряжения, вызванной деформацией «стесненного» изгиба. На рисунке изображено семь линий, каждая из которых соответствует определенному расположению волокон. Для построения данных диаграмм необходимо соединить прямыми линиями точки, соответствующие показателям усталостной прочности при  $N=1$  (в осредненных напряжениях) или равным им пределам прочности при растяжении, с точками, соответствующими пределам выносливости (в максимальных напряжениях).

Для того чтобы по этой диаграмме определить коэффициент, учитывающий влияние концентрации напряжений при каком-то числе циклов  $N$  и при расположении плоскости усилий под углом  $\alpha$  к направлению волокон, нужно из точки на горизонтальной оси, соответствующей числу циклов  $N$ , восстановить перпендикуляр до пересечения с соответствующей углу  $\alpha$  диаграммой. Ордината точки пересечения дает величину условного напряжения  $\sigma_{усл}$ , соответствующего предполагаемому эффективному коэффициенту концентрации напряжений при числе циклов  $N$ . Разделив ее на осредненное напряжение  $\sigma_{эл}$  (при данном числе циклов  $N$ ), которое определяют пересечением перпендикуляра с диаграммой усталостных испытаний (пунктир на рис. 1), получим величину коэффициента, учитывающего влияние концентрации напряжений,

$$k_{\sigma}^{усл} = \frac{\sigma_{усл}}{\sigma_{эл}} \quad (1)$$

Следует, однако, отметить, что диаграмма, построенная на рис. 1, справедлива для рассмотренного случая нагружения (чистый стесненный изгиб) и для рассмотренного материала. Величины этих эффективных коэффициентов концентрации напряжений приведены в табл. 1.

Таблица 1

$\alpha, \circ$	Коэффициент концентраций напряжений при числе циклов нагружения			
	$10^5$	$10^6$	$5 \cdot 10^6$	$10^7$
0	1,01	1,02	1,02	1,03
15	1,56	1,91	2,37	2,68
30	1,45	1,68	1,94	2,11
45	1,11	1,12	1,13	1,15
60	1,11	1,18	1,21	1,27
75	1,07	1,12	1,13	1,14
90	1,06	1,11	1,12	1,12

Наибольшее значение эти коэффициенты имеют при  $\alpha = 15^\circ$ ; именно при этой ориентировке волокон по отношению к плоскости действия сил имеет максимальное значение [5] и теоретический коэффициент концентрации напряжений, вызванной стеснением угловых деформаций.

Зависимость между пределами выносливости (для различно ориентированных образцов при ограниченном числе циклов), подсчитанными в условных напряжениях, соответствующих предполагаемым эффективным коэффициентам концентрации напряжений при числе циклов  $N$ , определяют теми же тензориальными зависимостями, что и между пределами прочности при статической нагрузке, или пределами выносливости в максимальных напряжениях при  $N = 5 \cdot 10^7$ . Эта зависимость может быть записана в виде

$$\sigma_{\alpha}^{усл} = \frac{\sigma_0^{усл}}{\cos^4 \alpha + b \sin^2 2\alpha + c \sin^4 \alpha} \quad (2)$$

где  $\sigma_{\alpha}^{\text{усл}}$  — ограниченный предел выносливости в условных напряжениях, соответствующих предполагаемому эффективному коэффициенту концентрации напряжений при каком-то числе циклов  $N$ , для образцов с направлением волокон под углом  $\alpha$  к плоскости действия усилий при том же числе циклов  $N$ ;

$c = \frac{\sigma_0^{\text{усл}}}{\sigma_{90}^{\text{усл}}}$  и  $b = \frac{\sigma_0^{\text{усл}}}{\sigma_{45}^{\text{усл}}} - \frac{c+1}{4}$  — коэффициенты, характеризующие степень анизотропии материала;

$\sigma_0^{\text{усл}}$ ,  $\sigma_{90}^{\text{усл}}$  и  $\sigma_{45}^{\text{усл}}$  — ограниченные пределы выносливости при числе циклов  $N$  для образцов с направлением волокон вдоль ( $\alpha = 0^\circ$ ), поперек ( $\alpha = 90^\circ$ ) и под углом  $45^\circ$  к плоскости нагружения соответственно.

На рис. 2 построена кривая изменения ограниченных пределов выносливости при  $N = 10^6$  с изменением угла  $\alpha$  по уравнению (2). Там же нанесены опытные точки этих пределов для образцов с различным направлением волокон в условных напряжениях при  $N = 10^6$ , полученные из диаграммы рис. 1. Как видно, эти точки располагаются очень близко

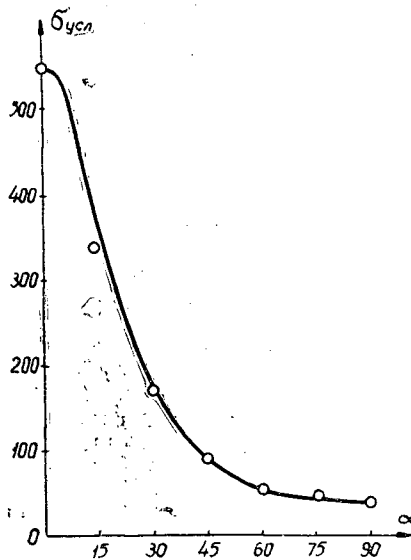


Рис. 2.

к тензориальной кривой. Следовательно, предложенный метод дает значения коэффициентов, близкие к действительным эффективным коэффициентам концентрации напряжений при ограниченном числе циклов  $N$ . Изменение ограниченных пределов выносливости в условных напряжениях следует тем же зависимостям, что и изменение показателей статической прочности — пределов прочности и изменение показателей усталостной прочности — истинных пределов выносливости.

Описанный метод определения коэффициентов, учитывающих влияние концентрации напряжений при ограниченном числе циклов, может быть использован для любого древесного материала и для любого вида концентрации напряжений. Необходимо только по результатам статических испытаний исследуемого материала при исследуемом виде напря-

женного состояния построить кривую статической прочности; при этом напряжения следует определять методами сопротивления материалов. По результатам усталостных испытаний нужно построить кривую пределов выносливости в максимальных напряжениях, возникающих в образце с исследуемым очагом концентрации напряжений. Соединив соответствующие точки, как это сделано на рис. 1, получим диаграммы усталостных испытаний в условных напряжениях. Нанеся диаграммы усталостных испытаний в средних напряжениях, получим диаграмму в таком виде, как она изображена на рис. 1. По этой диаграмме можно определить интересующие нас коэффициенты, учитывающие влияние концентрации напряжений на усталостную прочность древесины при ограниченном числе циклов  $N$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Е. К. Ашкенази, И. П. Боксберг, Г. М. Рубинштейн, К. К. Туроверов. Анизотропия механических свойств древесины и фанеры. Гослесбумиздат, 1958. [2]. Изготовление деталей из прессованной древесины (технические условия). Под редакцией П. Н. Хухрянского и П. Н. Житкова, Воронеж, 1957. [3]. А. Н. Поздняков. Усталость древесины под различными углами к направлению волокон. ИВУЗ. «Лесной журнал» № 3, 1960. [4]. А. А. Поздняков. Определение напряжений в деревянных образцах при стесненном изгибе. ИВУЗ. «Лесной журнал» № 6, 1961. [5]. А. А. Поздняков. Труды ЛТА им. Кирова № 97, 1962.

Поступила в редакцию  
2 января 1963 г.

## К ВОПРОСУ ОБ АГЕНТЕ СУШКИ ( $tP_n$ -ДИАГРАММА)

Ю. М. ОШУРКОВ

Аспирант

В. Н. ПЕТРИ

Профессор, доктор сельскохозяйственных наук

(Уральский лесотехнический институт)

В научно-технической литературе по сушке древесины особое место отведено рассмотрению свойств влажного воздуха (низких парциальных давлений водяного пара), топочных газов как агентов сушки, способных передавать тепло от теплообменных устройств сушимой древесине и удалять с поверхности последней испаряемую влагу. Однако до сих пор значительно меньшее место отводилось сведениям о перегретом паре атмосферного давления как агенте сушки, применяемом в высокотемпературных сушильных камерах. Последнее обстоятельство является причиной появления разноречивых толкований сущности и свойств перегретого пара атмосферного давления, как агента сушки, особенно среди практических работников и специалистов, занимающихся расчетами процессов сушки и конструированием сушильных камер.

Для изучения данного вопроса важным подспорьем, на наш взгляд, может быть диаграмма, соответствующим образом увязывающая физические константы агента сушки при различных его состояниях, в диапазоне парциальных давлений водяного пара от 0 до 1 *ата*.

Для производства тепловых расчетов в процессах сушки древесины широко применяется *Id*-диаграмма влажного воздуха.

Однако следует сказать, что большинство вариантов *Id*-диаграмм охватывает область парциальных давлений водяного пара во влажном воздухе от 0 до 0,45  $\text{кГ/см}^2$  (в отдельных работах до 0,716  $\text{кГ/см}^2$  ([2], [4], [7], [8], [9]).

Построение *Id*-диаграммы для области парциальных давлений водяного пара от вышеуказанных пределов до 1 *ата* приводит к такому положению, когда влаго- и теплосодержание, отнесенные к 1  $\text{кГ}$  сухого воздуха, увеличивается до плюс бесконечности. Это обстоятельство не позволяет использовать *Id*-диаграмму для расчетов сушильных процессов, в которых в качестве агента сушки применяется перегретый пар атмосферного давления.

В последние годы в технической литературе опубликована диаграмма ВИТСа, построенная в координатах *ty* [5], [6]. В основу построения диаграммы положено содержание воздуха, отнесенное к 1  $\text{кГ}$  водяного пара.

По диаграмме ВИТСа можно рассчитывать процессы сушки в среде перегретого пара атмосферного давления. Не вдаваясь в подробности описания  $tu$ -диаграммы, нужно отметить, что она неоправданно громоздка и довольно сложна в использовании.

В 1962 году вышла из печати работа И. В. Кречетова [10], в которой опубликована  $tP$ -диаграмма. Эта диаграмма является по существу модификацией  $Id$ -диаграммы, поскольку основные принципы построения линий постоянного теплосодержания и влагосодержания остались такими же, какие легли в основу построения  $Id$ -диаграммы.

В 1961 г. аспирант Уральского лесотехнического института Ю. М. Ошурков под руководством проф. В. Н. Петри разработал диаграмму влажного воздуха в координатах температура — парциальное давление водяного пара ( $tP_n$ ) в диапазоне парциальных давлений водяного пара от 0 до 1 *ата* [11].

Сущность построения  $tP_n$ -диаграммы состоит в следующем (см. рис. 1). Общеизвестно, что атмосферный воздух представляет собой смесь нескольких газов и некоторого количества водяного пара. Согласно закону Дальтона, барометрическое давление атмосферного воздуха  $P_a$  равно сумме составляющих его парциальных давлений

$$P_a = P_v + P_n, \quad (1)$$

где  $P_v$  и  $P_n$  — парциальные давления воздуха и пара.

Применительно к агенту сушки, парциальное давление водяного пара может быть любым, но не выше давления насыщения водяного пара ( $P_n$ ) при данной температуре, то есть

$$0 \leq P_n \leq P_n. \quad (2)$$

С другой стороны, согласно уравнению (1), парциальное давление водяного пара не может быть больше, чем барометрическое давление  $P_a$ .

Давление насыщенного водяного пара зависит только от температуры. При температуре среды, меньшей  $100^\circ\text{C}$ , давление насыщения  $P_n < P_a$ , а при температуре равной  $100^\circ\text{C}$  и выше —  $P_n \geq P_a$ . Таким образом, для области температур ниже  $100^\circ\text{C}$  справедливо положение (2), а для температур среды  $100^\circ\text{C}$  и выше парциальное давление водяного пара может лежать только в пределах

$$0 \leq P_n \leq P_a. \quad (3)$$

Отношение парциального давления водяного пара к давлению насыщения  $\frac{P_n}{P_n}$  называют степенью насыщения водяного пара и обозначают его через  $\varphi$ .

В основу построения  $tP_n$ -диаграммы положена зависимость давления насыщения водяного пара от температуры. По оси абсцисс прямоугольных координат диаграммы отложены значения парциального давления водяного пара от 0 до 1 *ата* в  $\text{кг/м}^2$ . По оси ординат — температура среды в  $^\circ\text{C}$ . По известным теплотехническим таблицам [1] зависимости  $P_n = f(t)$ , а также степени насыщения водяного пара  $\varphi = \frac{P_n}{P_n}$  на  $tP_n$ -диаграмму нанесены линии  $\varphi = \text{const}$ .

В пределах температур и давления, применяемых в практике сушительного дела, воздух и водяной пар могут рассматриваться как идеальные газы, подчиняющиеся уравнению состояния газов (уравнение Клапейрона)

$$PV = GRT, \quad (4)$$

где  $P$  — давление газа,  $\kappa\Gamma/\text{м}^2$ ;  
 $G$  — вес газа,  $\kappa\Gamma$ ;  
 $V$  — объем  $G$   $\kappa\Gamma$  газа,  $\text{м}^3$ ;  
 $R$  — газовая постоянная,  $\frac{\kappa\Gamma\text{м}}{\kappa\Gamma^\circ\text{С}}$ ;  
 $T$  — абсолютная температура,  $^\circ\text{К}$ .

Используя уравнение состояния (4), можно вес водяного пара и воздуха (в  $\kappa\Gamma$ ) выразить так:

$$G_n = \frac{V}{T} \cdot \frac{P_n}{R_n}; \quad (5)$$

$$G_v = \frac{V}{T} \cdot \frac{P_v}{R_v}. \quad (6)$$

Исходя из выражения (1), получим

$$P_v = P_a - P_n. \quad (7)$$

Заменив в равенстве (6) значение  $P_v$  разностью (7), получим

$$G_v = \frac{V}{T} \cdot \frac{P_a - P_n}{R_v} \kappa\Gamma. \quad (8)$$

Удельный вес агента сушки, состоящего из смеси воздуха и водяного пара,

$$\gamma = \frac{G_v + G_n}{V} \frac{\kappa\Gamma}{\text{м}^3}. \quad (9)$$

Подставляя в это выражение значения  $G_n$  и  $G_v$  из уравнений (5) и (8), получим

$$\gamma = \frac{1}{T} \cdot \frac{P_a - P_n \left(1 - \frac{R_v}{R_n}\right)}{R_v} \frac{\kappa\Gamma}{\text{м}^3}, \quad (10)$$

где

$$P_a = 10332 \frac{\kappa\Gamma}{\text{м}^2};$$

$$T = 273 + t;$$

$$R_n = 47,06 \frac{\kappa\Gamma\text{м}}{\kappa\Gamma^\circ\text{С}};$$

$$R_v = 29,27 \frac{\kappa\Gamma\text{м}}{\kappa\Gamma^\circ\text{С}}.$$

Заменив буквенные выражения в уравнении (10) соответствующими им числовыми значениями, получим

$$\gamma = \frac{10332 - 0,378P_n}{29,27(273 + t)} \frac{\kappa\Gamma}{\text{м}^3}. \quad (11)$$

В соответствии с этим выражением на  $tP_n$ -диаграмме нанесены линии  $\gamma = \text{const}$ .

Для построения линий постоянного теплосодержания нами принято теплосодержание 1  $\kappa\Gamma$  сушильного агента. Если обозначить весовую долю водяного пара через  $g_n$ , а весовую долю воздуха через  $g_v$ , то

$$g_n + g_v = 1 \kappa\Gamma. \quad (11, a)$$



Из этого уравнения видно, что увеличение весовой доли водяного пара от 0 до 1 кг будет происходить за счет уменьшения весовой доли воздуха от 1 кг до 0. Это обстоятельство, собственно, и позволяет нам построить  $tP_n$ -диаграмму. К этому положению мы вернемся, когда будем рассматривать вопросы, касающиеся процесса испарения влаги.

Известно, что теплосодержание некоторого количества паровоздушной смеси

$$I = r_0 G_n + C_{рп} \cdot t \cdot G_n + C_{рв} \cdot t \cdot G_v \quad \text{ккал}, \quad (12)$$

где  $r_0$  — теплота испарения воды (при  $t_{исп} = 0^\circ\text{C}$ ), равная  $597 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ ;

$C_{рп}$  — средняя удельная теплоемкость водяного пара  $\approx 0,46 \frac{\text{кГ}}{\text{м}^3}$ ;

$C_{рв}$  — средняя удельная теплоемкость воздуха  $\approx 0,24 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$

По поводу значений  $C_{рп}$  и  $C_{рв}$  необходимо сказать следующее.

1. Средняя удельная теплоемкость абс. сухого воздуха в диапазоне температуры от 0 до  $180^\circ\text{C}$  при атмосферном давлении практически не зависит от температуры [4].

2. В области низких давлений (до 1 атм) средняя удельная теплоемкость водяного пара имеет весьма слабую зависимость от температуры. Л. К. Рамзин считает, что среднюю удельную теплоемкость водяного пара можно принять равной

$$C_{рп} = 0,46 \div 0,47 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}^\circ\text{C}},$$

ибо этим обеспечивается достаточная точность при технических расчетах в диапазоне температур от 0 до  $200^\circ\text{C}$  [9].

В данной работе нами приняты те значения средних удельных теплоемкостей водяного пара и воздуха, которые встречаются в большинстве работ по сушке [2], [3], [5], [6], [7], [8], [9].

Вернемся к уравнению (12). Разделив обе его части на сумму  $G_n + G_v$ , представляющую общий вес паровоздушной смеси, и заменив значения  $G_n$  и  $G_v$  из выражений (5) и (8), получим теплосодержание 1 кг сушильного агента

$$i_{см} = \frac{C_{рв} \cdot t \cdot P_a + P_n \left[ \frac{R_n}{R_n} (r_0 + C_{рп} \cdot t) - C_{рв} \cdot t \right]}{P_a - P_n \left( 1 - \frac{R_v}{R_n} \right)} \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}, \quad (13)$$

где  $P_a$  — атмосферное давление  $= 10332 \frac{\text{кГ}}{\text{м}^2}$ .

Подставив в уравнение (13) вместо буквенных выражений соответствующие им числовые значения и произведя некоторые упрощения, окончательно получим

$$i_{см} = \frac{t + 0,15P_n + 0,000019 \cdot t \cdot P_n}{4,166 - 0,00015 \cdot P_n} \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}. \quad (14)$$

В соответствии с уравнением (14) на  $tP_n$ -диаграмме построены линии  $i_{см} = \text{const}$ , которые имеют вид прямых.

При ознакомлении с уравнением (14) может возникнуть вопрос, верно ли построены линии  $i_{см} = \text{const}$  в виде прямых по уравнению явно криволинейного характера? Для ответа на этот вопрос нами произведен анализ уравнения (14) на кривизну. Анализ показал, что кривизна ли-

ний постоянного теплосодержания в зависимости от значений  $t$  и  $P_n$  находится в пределах  $1,2 \cdot 10^{-5} \div 3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{град}}{\text{м}}$ . Иными словами, для самых высоких значений  $t$  и  $P_n$  кривизна линий теплосодержания не превышает  $1/60$  град на 10 м длины кривой.

Таким образом, нанесение линий постоянного теплосодержания сушильного агента в виде прямых линий отвечает высокой степени точности графического изображения уравнения (14).

В ряде случаев для практических расчетов необходимо знать среднюю удельную теплоемкость агента сушки. Последняя определена из нижеследующего выражения теплоемкости смеси

$$C_p = \frac{C_{pн}G_n + C_{pв}G_v}{G_n + G_v} \quad (15)$$

Подставляя в это выражение значения весов водяного пара и воздуха, находящихся в смеси, и, произведя соответствующие упрощения, получим

$$C_p = \frac{C_{pв} \cdot P_a + P_n \left( C_{pн} \frac{R_v}{R_n} - C_{pв} \right)}{P_a - P_n \left( 1 - \frac{R_v}{R_n} \right)} \quad (16)$$

или в числовом выражении

$$C_p = \frac{0,24 + 0,000004 \cdot P_n}{1 - 0,000037 \cdot P_n} \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \quad (17)$$

Значения  $C_p$  нанесены на вспомогательной шкале  $tP_n$ -диаграммы, расположенной параллельно оси абсцисс.

По двум известным параметрам сушильного агента (кроме пары  $P_n$  и  $C_p$ ) при помощи  $tP_n$ -диаграммы можно определить следующее: степень насыщения водяного пара  $\varphi$ , теплосодержание  $i_{см}$ , удельный вес  $\gamma$ , парциальное давление водяного пара и воздуха, температуру по сухому и мокрому термометру, среднюю удельную теплоемкость. По  $tP_n$ -диаграмме можно производить расчет процессов нагрева или охлаждения влажного воздуха с парциальным давлением пара от 0 до 1 ата, определять теплофизические параметры смеси воздуха двух или нескольких состояний, производить расчеты процессов испарения и сушки.

Практическое пользование  $tP_n$ -диаграммой разберем на нескольких примерах.

1. Пусть психрометр в сушильной камере показывает  $t_c = 120^\circ\text{С}$  и  $t_m = 90,5^\circ\text{С}$ . Следует определить параметры сушильного агента.

По линии  $t_m = 91^\circ$  находим точку пересечения ее с кривой насыщения  $\varphi = 1$ . Затем из точки пересечения идем вверх вдоль линии постоянного теплосодержания  $i_{см} = 398,6 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$  до пересечения с температурной линией  $t_c = 120^\circ$ . Точка А, показанная на диаграмме, будет характеризовать состояние агента сушки. По положению точки А относительно линий  $\varphi = \text{const}$  и  $\gamma = \text{const}$  определяем степень насыщения водяного пара  $\varphi = 0,35$  и удельный вес  $\gamma = 0,665 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Опуская перпендикуляр из точки А на ось абсцисс, находим парциальное давление водяного пара  $P_n = 7200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ , продолжая перпендикуляр до пересечения с вспомогательной шкалой  $C_p$ , находим удельную теплоемкость смеси  $C_p = 0,365 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ .

2. Рассмотрим пример смешения агента сушки в камере со свежим воздухом.

Пусть коэффициент прибавления рециркулирующего воздуха, то есть коэффициент смешения, равен  $n$ , теплосодержание 1 кг свежего воздуха при температуре  $t_0$  равно

$t_{см0}$ ; парциальное давление пара в нем —  $P_{п0}$ , что соответствует количеству влаги (по весу)  $g_{п0}$ . Теплосодержание 1 кг сушильного агента при температуре  $t_2$  равно  $i_{см2}$ , а парциальное давление водяного пара в нем составляет  $P_{п2}$ , что соответствует количеству влаги  $g_{п2}$ . Теплосодержание составляющих частей, воздуха и сушильного агента равно теплосодержанию смеси. Отсюда можно записать

$$i_{см0} + i_{см2} \cdot n = (1 + n) i_{см3} \quad (18)$$

Аналогично этому уравнению из тех же соображений

$$g_{п0} + g_{п2} \cdot n = (1 + n) g_{п3} \quad (19)$$

Преобразовав уравнения (18) и (19) и разделив первое на второе, получим уравнения прямой, проходящей через три точки.

$$\frac{i_{см3} - i_{см0}}{g_{п3} - g_{п0}} = \frac{i_{см2} - i_{см3}}{g_{п2} - g_{п3}} \quad (20)$$

В практике сушки древесины коэффициент смешения  $n$  обычно более 10. Анализ показывает, что при  $n \geq 10$  координаты точки смеси, удовлетворяя равенству (20), лежат на прямой смешения.

Вернемся к уравнению (11,а). Из условий, о которых мы говорили в начале статьи, это уравнение можно записать следующим образом:

$$\frac{P_a V}{R_a T} + \frac{P_b V}{R_b T} = 1 \text{ кг}. \quad (21)$$

Из этого уравнения, решение которого здесь опускается, получим

$$g_{п} = \frac{P_a - P_b}{P_a + 0,6078 P_b}, \text{ в долях кг}. \quad (22)$$

Учитывая, что  $P_a - P_b = P_{п}$ , окончательно получим

$$g_{п} = \frac{P_{п}}{1,6078 P_a - 0,6078 P_{п}}, \text{ в долях кг}. \quad (23)$$

Уравнение (23) показывает, что весовая доля водяного пара однозначно определяется парциальным давлением водяного пара в сушильном агенте\*.

Обратимся к рис. 2, б, на котором схематично представлена часть  $tP_{п}$ -диаграммы. Точки 0, 2 и 3 характеризуют соответственно свежий воздух, сушильный агент и смесь сушильного агента с воздухом.

Из приведенного рисунка видно, что уравнение (20) прямой, проходящей через точки 0, 2 и 3, может быть выражено координатами  $t$  и  $P_{п}$ , поскольку последние однозначно определяют каждую точку.

Поэтому математическая замена  $i_{см}$  на  $t$  и  $g_{п}$  на  $P_{п}$  в уравнении (20) не будет противоречить физическому смыслу этого уравнения.

Отсюда уравнение (20) примет вид

$$\frac{t_3 - t_0}{P_{п3} - P_{п0}} = \frac{t_2 - t_3}{P_{п2} - P_{п3}} \quad (24)$$

Учитывая сложную зависимость  $t$  от  $i$  и  $P_{п}$  от  $g_{п}$  при использовании уравнения (24) одну из координат точки смеси следует определять соответственно из условий энергетического (18) или материального (19) балансов.

3. Рассмотрим пример пользования  $tF_{п}$ -диаграммой для расчета процесса сушки в среде влажного воздуха при многократной циркуляции сушильного агента.

Определим количество циркулирующего агента сушки и затраты тепла, необходимые для испарения 1 кг влаги из древесины. При этом будем считать, что отсутствуют расходы тепла на прогрев сушимого материала и потери в окружающую среду.

\* По уравнению (23) на  $tP_{п}$ -диаграмму нанесена шкала весовых долей водяного пара в зависимости от парциального давления.

На рис. 2, б прямой 0—2 изображен процесс смешения агента сушки со свежим воздухом. Образовавшаяся смесь (точка 3) с параметрами  $t_3$  и  $P_{п3}$  подается вентилятором в калорифер, где подогревается до температуры  $t_1$ . Процесс нагрева происходит без изменения парциального давления водяного пара, то есть по линии  $P_{п3} = \text{const}$ . После того, как агент сушки пройдет через материал, его параметры изменятся до некоторого значения  $t_2$  и  $P_{п2}$ .

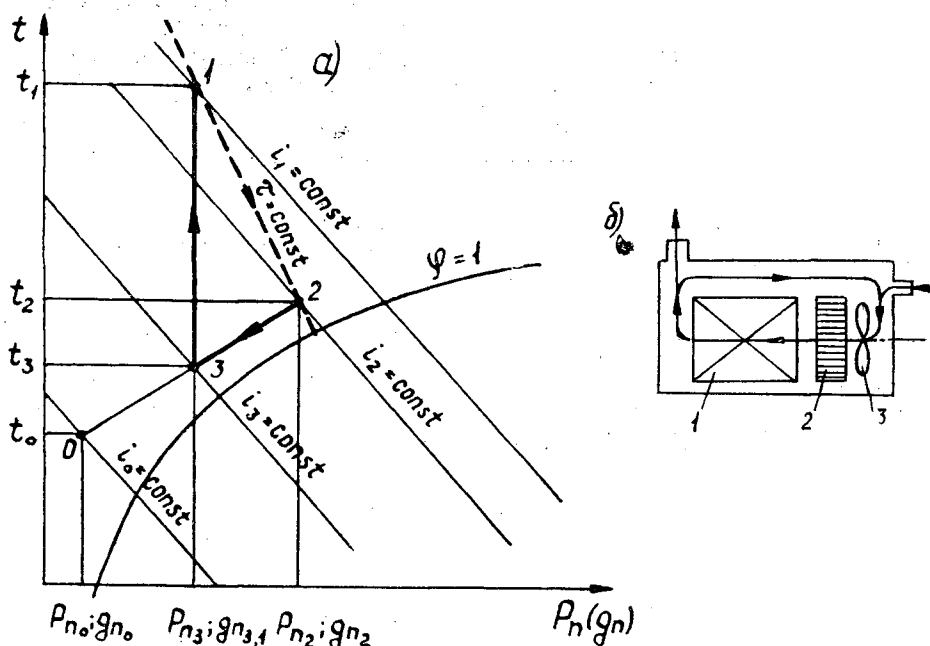


Рис. 2. а — изображение процесса сушки на  $tP_n$ -диаграмме при многократной циркуляции агента сушки; б — схема сушильной камеры; 1 — материал; 2 — калорифер; 3 — вентилятор.

Вес агента сушки увеличится в точке 2 за счет испаренной влаги, а теплосодержание вследствие этого снизится на некоторую величину. Процесс испарения в данном случае должен идти по некоторой линии  $\tau = \text{const}$ , несколько отклоняющейся от линии  $i_{см1} = \text{const}$ .

Процесс испарения влаги приводит к изменению парциального давления водяного пара, к изменению количественного соотношения пара и воздуха в агенте сушки.

Допустим, что 1 кг агента сушки с температурой  $t_1$  и соотношением водяного пара  $g_n$  и воздуха  $g_{в1}$  испарил  $\Delta g_n$  кг влаги при  $t_{исп} = 0^\circ \text{C}$ . По окончании процесса испарения температура агента сушки стала  $t_2$ , а соотношение водяного пара и воздуха соответственно  $g_{н2}$  и  $g_{в2}$ .

Составим материальный баланс процесса испарения при расчете на 1 кг агента сушки

$$\frac{g_{н1} + g_{в1} + \Delta g_n}{1 + \Delta g_n} = g_{н2} + g_{в2}. \quad (25)$$

Пусть та часть испаренной влаги, которая пошла на изменение парциального давления водяного пара в сушильном агенте в результате процесса испарения будет составлять  $\alpha_n$ , то есть

$$\alpha_n = g_{н2} - g_{н1}. \quad (26)$$

Анализируя формулу (25), можно убедиться, что

$$g_{н2} = \frac{g_{н1} + \Delta g_n}{1 + \Delta g_n} \quad (27)$$

Следовательно

$$\alpha_n = \frac{g_{н1} + \Delta g_n}{1 + \Delta g_n} - g_{н1} \quad (28)$$

или

$$\alpha_n = \frac{\Delta g_n}{1 + \Delta g_n} (1 - g_{н1}). \quad (29)$$

Количество испаренной влаги  $\Delta g_{п}$  при  $t_{исп} = 0^\circ \text{C}$  можно выразить следующим образом:

$$\Delta g_{п} = \frac{C_{p_1}(t_1 - t_2)}{r_0}, \quad (30)$$

где  $C_{p_1}$  — удельная теплоемкость агента сушки перед началом процесса испарения. Следовательно равенство (29) с учетом (30) можно выразить так:

$$\alpha_{п} = \frac{C_{p_1}(t_1 - t_2)}{r_0 + C_{p_1}(t_1 - t_2)} (1 - g_{п_1}). \quad (31)$$

Из уравнения (31) можно сделать следующие выводы:

1) при определенном значении исходных параметров агента сушки,  $\alpha_{п}$  зависит только от его конечной температуры, с уменьшением которой  $\alpha_{п}$  увеличивается. Процесс испарения графически изобразится на  $tP_{п}$ -диаграмме линией адиабатического насыщения  $\tau = \text{const}$  (см. рис. 1), представляющей геометрическое место точек  $(g_{п_1} + \alpha_{п})$ ;

2) при неизменных  $t_1$  и  $t_2$ , с увеличением весовой доли водяного пара  $g_{п_1}$  от 0 до 1, приращение  $\alpha_{п}$  в результате процесса испарения (при расчете на 1 кг агента сушки) уменьшается. А в пределе, когда  $g_{п_1} = 1$ , то есть когда испарение влаги осуществляется агентом сушки, представляющим собой «чистый» водяной пар, это приращение равно нулю.

Это весьма важный вывод, который показывает, что на линии  $P_{п} = 1$  ата, процесс испарения влаги на  $tP_{п}$ -диаграмме будет графически изображаться линией  $P_{п} = 1$  ата. В данном случае линии  $\tau = \text{const}$  и  $P_{п} = 1$  ата совмещаются.

Для определения количества влаги, испаряемой 1 кг агента сушки, решим уравнение (29) относительно  $\Delta g_{п}$ . В результате, с учетом (26) получим

$$\Delta g_{п} = \frac{g_{п_2} - g_{п_1}}{1 - g_{п_2}}. \quad (32)$$

Расход агента сушки  $L$ , циркулирующего по материалу, для испарения 1 кг влаги составит

$$L = \frac{1 - g_{п_2}}{g_{п_2} - g_{п_1}} \frac{\text{кг агента сушки}}{\text{кг исп. влаги}}. \quad (33)$$

Расход тепла на испарение 1 кг влаги для сушилок с многократной циркуляцией (при добавке свежего воздуха) составит

$$Q_{исп} = \frac{i_2(1 - g_{п_2}) - i_0(1 - g_{п_2})}{g_{п_2} - g_{п_0}} \frac{\text{ккал}}{\text{кг исп. влаги}}. \quad (34)$$

Для расчета теоретического процесса сушки в среде перегретого пара (при  $t_{исп} = 0^\circ \text{C}$ ) формулы для определения  $\Delta g_{п}$ ,  $L$  и  $Q_{исп}$  будут иметь следующий вид:

$$\Delta g_{п} = \frac{C_{pп}(t_1 - t_2)}{r_0} \frac{\text{кг}}{\text{кг}}; \quad (35)$$

$$L = \frac{r_0}{C_{pп}(t_1 - t_2)} \frac{\text{кг}}{\text{кг исп. влаги}}; \quad (36)$$

$$Q_{исп} = r_0 \frac{\text{кг}}{\text{кг исп. влаги}}. \quad (37)$$

Рамки настоящей статьи не позволяют рассмотреть всех случаев применения  $tP_{п}$ -диаграммы для расчета процессов сушки как в среде влажного воздуха, так и в среде перегретого пара. Приведенные примеры далеко не полностью раскрывают все ее возможности.

Если свойства влажного воздуха, как агента сушки с содержанием влаги от 0 до 500 г/кг, изучены достаточно хорошо (в этом огромная заслуга  $Id$ -диаграммы), то этого нельзя сказать об агенте сушки с высокими парциальными давлениями водяного пара.

Экспериментальные исследования сушильных свойств перегретого пара еще далеко не полны. Поэтому мы надеемся, что предложенная

$tP_n$ -диаграмма поможет решению ряда вопросов и в первую очередь, касающихся технологических свойств агента сушки с парциальным давлением водяного пара, равным атмосферному или близким к нему.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. М. П. Вукалович. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Машгиз, М., 1951. [2]. Краткое руководство по внедрению высокотемпературной сушки пиломатериалов. ЦНИИМОД, 1961. [3]. О. Кришер. Научные основы техники сушки. Изд-во иностранной литературы, М., 1961. [4]. А. В. Лыков. Тепло- и массообмен в процессах сушки. Госэнергоиздат, М., 1956. [5]. Э. А. Микит, К. К. Упманис. Труды института лесохозяйственных проблем АН Латвийской ССР, VIII, 1960. [6]. Э. А. Микит, К. К. Упманис. Интенсификация сушки пиломатериалов в камерах периодического действия. Гослесбумиздат, М., 1961. [7]. Л. К. Рамзин. Известия ВТИ № 1 (24), 1927. [8]. П. С. Серговский. Гидротермическая обработка древесины. Гослесбумиздат, М., 1958. [9]. П. В. Соколов. Сушка древесины. Гослесбумиздат, М., 1960. [10]. И. В. Кречетов. Сушка древесины топочными газами. Гослесбумиздат, М.-Л., 1961. [11]. Ю. М. Ошурков. Доклады второй научно-технической конференции молодых специалистов лесного производства Урала по итогам работ 1961 года. Свердловск, 1962.

Поступила в редакцию  
3 декабря 1962 г.

## О ВЛИЯНИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРОПИЛА ОТНОСИТЕЛЬНО ГОДОВЫХ СЛОЕВ И РАССТОЯНИЯ ЕГО ОТ ЦЕНТРА СТВОЛА НА УДЕЛЬНУЮ РАБОТУ РЕЗАНИЯ ПРИ ПИЛЕНИИ

**Б. Д. КОЛЧАНОВ**

Старший преподаватель

(Петрозаводский государственный университет)

При изучении процесса пиления и определении силовых параметров этого процесса значительный интерес представляет выяснение зависимости усилий, возникающих при резании, от расположения плоскости пропила относительно годовичных слоев древесины и расстояния ее от центра ствола. На существование этой зависимости указывает ряд авторов. К. М. Ашкенази [1] пишет, что коэффициент сопротивления при пилении зависит от местоположения пропила относительно оси бревна. Некоторые исследователи, с целью уменьшения влияния расположения пропила на измеряемые величины в своих работах использовали материал, полученный при распиловке бревен по определенным поставам. Н. К. Якунин [3] использовал в своих опытах доски, выпиленные из периферийной части бревен по специальному поставу. Однако выпилка испытуемых образцов из определенной зоны бревна не всегда возможна (например, в том случае, когда требуется получить материал большой толщины).

При распиловке высоких брусьев плоскости пропилов располагаются в различных относительно центра и годовичных слоев зонах бревна. Впрочем, выпилка испытуемых образцов по определенным поставам, как это указывает Н. К. Якунин, не привела к желаемым результатам. Разброс полученных при измерении величин оказался также большим.

Большая разница в результатах измерений объясняется значительным влиянием расположения пропила относительно годовичных слоев и центра бревна на величину удельной работы резания при пилении. Известно, что физико-механические свойства древесины также зависят от расположения образца по радиусу ствола. Об этом говорит Л. М. Перельгин [2]. К сожалению, эти закономерности еще мало изучены. Что же касается зависимостей, определяющих влияние расположения пропила на удельную работу, усилие резания и другие величины, то они почти совсем не исследованы.

Автором данной статьи проведены исследования по изучению зависимости силовых параметров процесса продольного пиления от расположения пропила относительно годовичных слоев и центра бревна.

Опыты проводили на экспериментальной установке, созданной на базе серийного шпалорезного станка. Механизм резания станка был

оставлен почти без изменения. Скорость вращения пильного вала изменяли за счет смены шкивов на валу двигателя и пильном валу. Надвигание производили при помощи отдельного двигателя. Для этого был изготовлен удлиненный вал механизма надвигания и контрпривод. Передачу крутящего момента от двигателя к валу механизма надвигания производили при помощи двух ремней и двух пар шкивов. Для опытов использовали сосновую древесину (влажностью 33,8%), заготовленную на одной делянке, со следующими физико-механическими свойствами подопытной древесины: объемный вес —  $0,523 \text{ г/см}^3$ ; предел прочности при сжатии вдоль волокон —  $472 \text{ кг/см}^2$ ; предел прочности при скалывании вдоль волокон в тангентальной плоскости —  $78 \text{ кг/см}^2$ ; предел прочности при скалывании вдоль волокон в радиальной плоскости —  $81 \text{ кг/см}^2$ ; процент поздней древесины — 31,2; число годичных слоев в  $1 \text{ см}$  — 9,3; твердость —  $294 \text{ кг/см}^2$ .

Испытуемые образцы выпиливали из отборных бревен диаметром  $30 \text{ см}$  по специальным поставам (рис. 1). Высоту брусьев принимали равной  $50 \text{ мм}$  для одних опытов и  $100 \text{ мм}$  — для других. Выпиловка брусьев по указанным поставам давала возможность получить испытываемый материал из различных по качеству зон бревна и позволяла выявить зависимость силовых параметров от расположения пропила относительно центра бревна и годичных слоев.

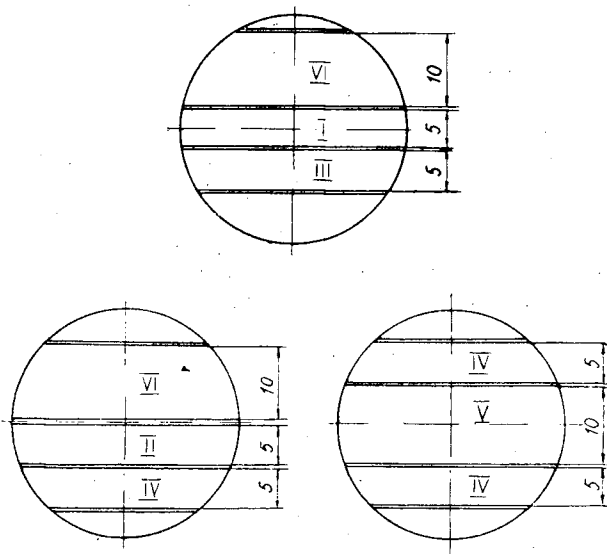


Рис. 1. Поставы на выпилку брусьев.

До распиловки брусья размечали. Разметку заносили в журнал наблюдений, при этом присваивали номер каждому пропилу и положение его фиксировали. Распиловку брусков производили круглой пилой, изготовленной в соответствии с ГОСТом 980—53. Характеристика пилы: диаметр пилы —  $1200 \text{ мм}$ ; толщина пилы —  $4,2 \text{ мм}$ ; число зубьев — 40; передний угол —  $35^\circ$ ; угол заострения зуба —  $40^\circ$ ; задний угол —  $15^\circ$ . Скорости резания были приняты равными  $48,8$ ;  $57,7$ ;  $74,7 \text{ м/сек}$ . Основная часть опытов проведена со скоростью резания  $57,7 \text{ м/сек}$  и скоростями надвигания  $0,304$  и  $0,466 \text{ м/сек}$ . Средний угол встречи составлял  $71$  и  $75^\circ$ . Заточку пил производили после получения  $50 \text{ м}^2$  пропила, поэтому степень остроты зубьев была практически постоянной.



При опытах измеряли мощность, расходуемую на пиление, число оборотов пильного вала и вала механизма надвигания. Измерение мощности производили при помощи самопишущего ваттметра. Для контроля показаний ваттметра и определения степени точности измерений сделали несколько совместных записей мощности регистрирующим ваттметром и крутящего момента на пильном валу осциллографом МПО-2. Как показали опыты, разница в величинах мощностей не превышает 2,5%, а записи, сделанные ваттметром, значительно легче обрабатывать; поэтому в большей части опытов мощность измеряли только самопишущим ваттметром.

Тарировку механизма пиления производили при помощи ленточного тормоза. Для измерения натяжения ветвей ленты использовали тензодинамометры, сигналы которых фиксировали осциллографом. Такой способ тарировки позволял учесть все потери в механизме пиления.

Числа оборотов пильного вала и вала механизма надвигания измеряли при помощи контактных устройств и фиксировали осциллографом. Полученные записи показали, что скорости резания и надвигания при опытах весьма стабильны (изменялись не более, чем на 1%).

Минимальное число опытов в каждой серии вычисляли по формуле

$$n \geq \left( \frac{k_n \sigma}{pM} \right)^2,$$

где  $n$  — необходимое число опытов;

$k_n$  — коэффициент надежности;

$\sigma$  — среднее квадратичное отклонение, определяемое из предварительных опытов;

$M$  — среднее арифметическое, полученное в этих опытах;

$p$  — показатель точности.

При коэффициенте надежности  $k_n = 2$  и показателе точности  $p = 0,05$  необходимое число опытов равно 24.

Удельную работу резания определяли по формуле

$$k = \frac{102N}{bhu},$$

где  $k$  — удельная работа резания при пилении,  $\frac{\text{кГм}}{\text{см}^3}$ ;

$N$  — мощность, потребная на резание, кВт;

$b$  — ширина пропила, мм;

$h$  — высота пропила, мм;

$u$  — скорость надвигания, м/сек.

Полученные при экспериментах данные обрабатывали с помощью методов вариационной статистики.

Результаты работы представлены на рис. 2 и 3.

Как видно из приведенных графиков (рис. 2), зависимость мощности, необходимой на пиление, от расположения пропила выражается параболой.

Мощность растет по мере удаления пропила от оси ствола (при измерении расстояния по перпендикуляру к плоскости пропила); по мере удаления пропила от центра ствола возрастание мощности происходит быстрее для брусьев, выпиленных из средней части бревна и медленнее для брусьев, выпиленных из периферийной части.

То же можно сказать о влиянии расположения пропила на удельную работу резания (рис. 3).

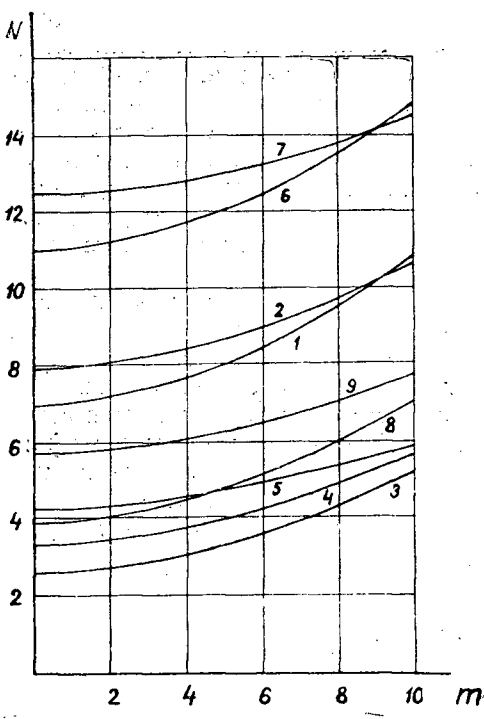


Рис. 2. График зависимости мощности от расположения пропила.

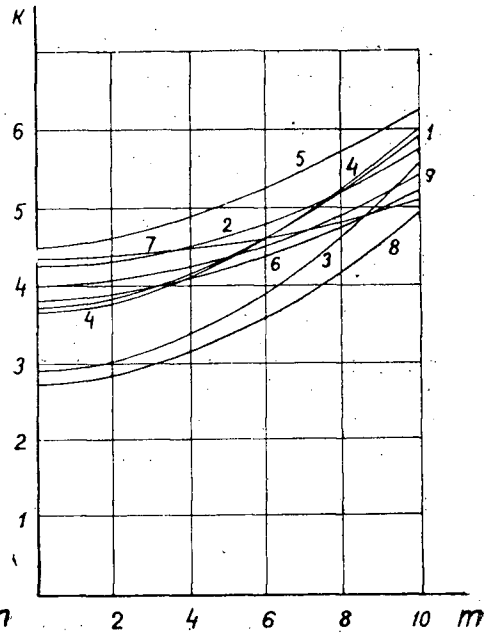


Рис. 3. График зависимости удельной работы от расположения пропила.

На рис. 2 и 3 номера кривых соответствуют следующим условиям:

- 1 —  $u = 0,304$  м/сек;  $h = 100$  мм для брусев V типа
- 2 —  $u = 0,304$  »  $h = 100$  » » » VI »
- 3 —  $u = 0,304$  »  $h = 50$  » » » I »
- 4 —  $u = 0,304$  »  $h = 50$  » » » II »
- 5 —  $u = 0,304$  »  $h = 50$  » » » IV »
- 6 —  $u = 0,466$  »  $h = 100$  » » » VI »
- 7 —  $u = 0,466$  »  $h = 100$  » » » VII »
- 8 —  $u = 0,466$  »  $h = 50$  » » » I »
- 9 —  $u = 0,466$  »  $h = 50$  » » » III »

$N$  — мощность резания, квт;  $m$  — расстояние пропила от оси ствола, см;  $k$  — удельная работа резания,  $\frac{кГм}{см^3}$ .

### Выводы

1. Удельная работа резания при пилении в значительной степени зависит от расстояния пропила от центра бревна, измеренного по перпендикуляру к плоскости пропила. По мере удаления пропила от центра удельная работа возрастает, причем увеличение может достигать 80—85%.
2. Удельная работа резания зависит также от расстояния продольной оси обрабатываемого бруса от центра бревна, измеренного по перпендикуляру к пластям бруса. При удалении оси бруса от центра удельная работа возрастает, однако изменение ее в пределах одного бруса уменьшается.

3. Указанные зависимости следует учитывать при определении удельной работы резания и мощности, затрачиваемой на пиление. Для получения наименьшего расхождения в измеряемых данных нужно выпиливать испытываемые образцы из периферийных частей бревна и брать ширину их возможно меньшей.

4. В случаях, когда выпилка узких образцов не может быть допущена по условиям опытов, требуется чередовать пропилы таким образом, чтобы уменьшить влияние расположения их на измеряемые величины.

5. При расчетах силовых параметров пиления для определенных условий следует применять коэффициенты резания и другие величины, полученные при обработке результатов опытов, произведенных с материалом, выпиленным при соблюдении этих условий.

Для получения полной картины закономерностей, определяющих влияние расположения пропила относительно годичных слоев древесины и расстояния его от центра ствола на силовые параметры процесса пиления, требуется проведение дальнейших исследований, посвященных, в частности, выяснению зависимости обрабатываемости древесины от местоположения образца по радиусу ствола.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. К. М. Ашкенази. Механизация лесоразработок. Гослесбумиздат, М.-Л., 1949.
- [2]. Л. М. Перелыгин. Древесиноведение. Изд-во «Советская наука», М., 1957.
- [3]. Н. К. Якунин. Исследование режимов продольного пиления круглыми пилами. Диссертационная работа, Химки, 1953.

Поступила в редакцию  
16 мая 1963 г.

## О СРОКАХ ПРОСЫХАНИЯ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПРИ АТМОСФЕРНОЙ СУШКЕ ПО КЛИМАТИЧЕСКИМ ЗОНАМ

**Н. П. ФЕДЫШИН**

Старший преподаватель

(Архангельский лесотехнический институт)

Для правильной организации атмосферной сушки и хранения пиломатериалов на открытых складах очень важно знать сроки их просыхания до влажности, соответствующей точке сухого иммунитета, или до так называемой транспортной влажности (22%). Знание сроков просыхания необходимо также при планировании сроков отправки пиломатериалов со складов, при расчете потребной площади складов и в ряде других случаев.

В ГОСТе 3808—47 «Правила естественной сушки и хранения пиломатериалов хвойных пород на складах (биржах) для естественной сушки» приведены сроки выдержки пиломатериалов до транспортной влажности. Они установлены при сушке в рядовых штабелях. В новом ГОСТе 3808—62 «Пиломатериалы хвойных пород. Правила атмосферной сушки и хранения на открытых складах» предусмотрена укладка пиломатериалов для сушки как в рядовые, так и в пакетные штабеля различной высоты. Сроки сушки в этом ГОСТе не приведены, а в практике знание их очень важно.

Скорость сушки древесины в атмосферных условиях находится в прямой зависимости от температуры, относительной влажности воздуха и скорости его движения. Кроме того, на складах пиломатериалов интенсивность сушки зависит от конструкции штабелей, их расположения, породы древесины, размеров сортиментов и некоторых других факторов.

Как правило, для каждой местности характерны определенные средние метеорологические условия, применительно к которым имеется возможность опытным путем определить сроки просыхания пиломатериалов.

В ГОСТе 3808—62 вся территория Советского Союза в зависимости от климатических условий отдельных районов условно подразделена на 4 климатические зоны:

1. Архангельская, Мурманская, Вологодская, Кировская, Пермская, Свердловская, Сахалинская области, северная половина Западной и Восточной Сибири и Коми АССР;

2. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская и Псковская области;

3. Латвийская ССР, Литовская ССР, Эстонская ССР, Белорусская ССР, Смоленская, Калининградская, Московская, Калининская, Орловская, Тульская, Рязанская, Ивановская, Ярославская, Горьковская, Брянская, Челябинская, Владимирская, Калужская, Костромская

области, южная часть Западной и Восточной Сибири, Чувашская АССР, Марийская АССР, Мордовская АССР, Татарская АССР, Башкирская и Удмуртская АССР;

4. Украинская ССР, Молдавская ССР, Курская, Астраханская, Куйбышевская, Саратовская, Волгоградская, Оренбургская, Воронежская, Тамбовская, Пензенская, Ростовская, Ульяновская области, Северный Кавказ и Закавказье.

На основании проведенных исследований, с учетом данных В. И. Лебедева, Ф. И. Коперина, Н. И. Стрекаловского, М. П. Зеленина, Н. П. Красновского, нами разработаны сроки просыхания сосновых свежеспиленных пиломатериалов до транспортной влажности (22%) применительно к климатическим зонам, указанным в ГОСТе 3808—62 (для 4-ой климатической зоны с укладкой в марте и октябре они приведены по данным УкрНИИМОДа).

В табл. 1 указаны в днях сроки просыхания (для периода со средними положительными температурами) пакетных штабелей высотой до 6 м из пакетов шириной 1—1,1 м, выложенных в соответствии с требованиями ГОСТа 3808—62. Для пакетных штабелей высотой 7—9 м и для рядовых штабелей они соответственно увеличиваются на 10%; для елового и пихтового пиломатериала — сокращаются примерно на 10%.

Таблица 1

Время укладки пиломатериалов для сушки	Номер климатической зоны	Срок выдержки (дни) при толщине пиломатериалов (мм)			
		до 12	15—25	35—50	55—75
Март	4	10—15	12—28	25—32	35—45
Апрель	1	30—34	34—38	43—51	55—64
Май	2	22—26	30—34	38—47	51—60
"	3	17—22	26—30	34—36	43—51
"	4	9—13	13—15	17—22	22—30
Июнь	1	9—13	13—17	22—43	43—55
Июль	2	9—10	10—13	17—34	34—51
"	3	7—9	9—10	15—22	26—34
"	4	6—7	8—9	13—15	17—25
Август	1	18—28	30—34	43—51	55—60
Сентябрь	2	17—25	26—34	36—43	47—55
"	3	15—22	22—30	30—38	43—47
"	4	9—13	10—17	20—26	30—34
Октябрь	4	10—15	12—28	25—32	35—45

Приведенные сроки просыхания ориентировочны, но, ввиду отсутствия в литературе более точных данных по отдельным климатическим зонам, они пока могут быть использованы для практики хранения пиломатериалов.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

ЛИГНИН — ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

А. Н. ЗАВЬЯЛОВ

Инженер

(Ивановский химико-технологический институт)

Лигнин, являющийся отходом гидролизного и целлюлозно-бумажного производства, имеет большое промышленное значение. Годовые мировые запасы лигносодержащих отходов исчисляются миллионами тонн.

Быстрое развитие химической промышленности позволяет в настоящее время рассматривать эти отходы как ценное сырье, запасы которого могут непрерывно возобновляться при условии рационального использования лесных богатств.

Одним из направлений использования лигносодержащих отходов является переработка лигнина на высокомолекулярные продукты (пластмассы, лаки, ионообменные смолы, клеевые вещества и т. п.).

Несомненно, в недалеком будущем лигнин будет использоваться и в качестве исходного сырья для производства синтетических волокон. По мнению проф. З. Я. Роговина [8], проблема превращения лигнина в ароматические дикарбоновые кислоты является весьма актуальной. Разработка экономически выгодных способов переработки лигнина в ароматические кислоты может расширить сырьевую базу промышленных синтетических волокон и увеличить их ассортимент.

В последние годы появились сообщения о работах в области использования продуктов расщепления лигнина для получения волокнообразующих полимеров. Исходя из имеющихся данных, можно наметить следующие пути превращения лигносодержащих отходов в волокнообразующие полимеры: 1) через ванилин, 2) через протокатеховую кислоту, 3) через пирокатехин, 4) через *n*-крезол и, возможно, 5) через щавелевую кислоту (рис. 1).

*Превращение лигнина в волокнообразующие полимеры через ванилин*

В настоящее время ванилин в значительных количествах получают из сульфитных щелоков окислением лигносульфонового комплекса в щелочной среде воздухом. Максимальный выход ванилина при этом процессе составляет 25% от лигнина. В настоящее время промышленное производство ванилина из лигнина осуществлено в Канаде, Польше, СССР и США.

В институте химии бумаги (США) разработан способ конверсии ванилина в ванилиновую кислоту [9].

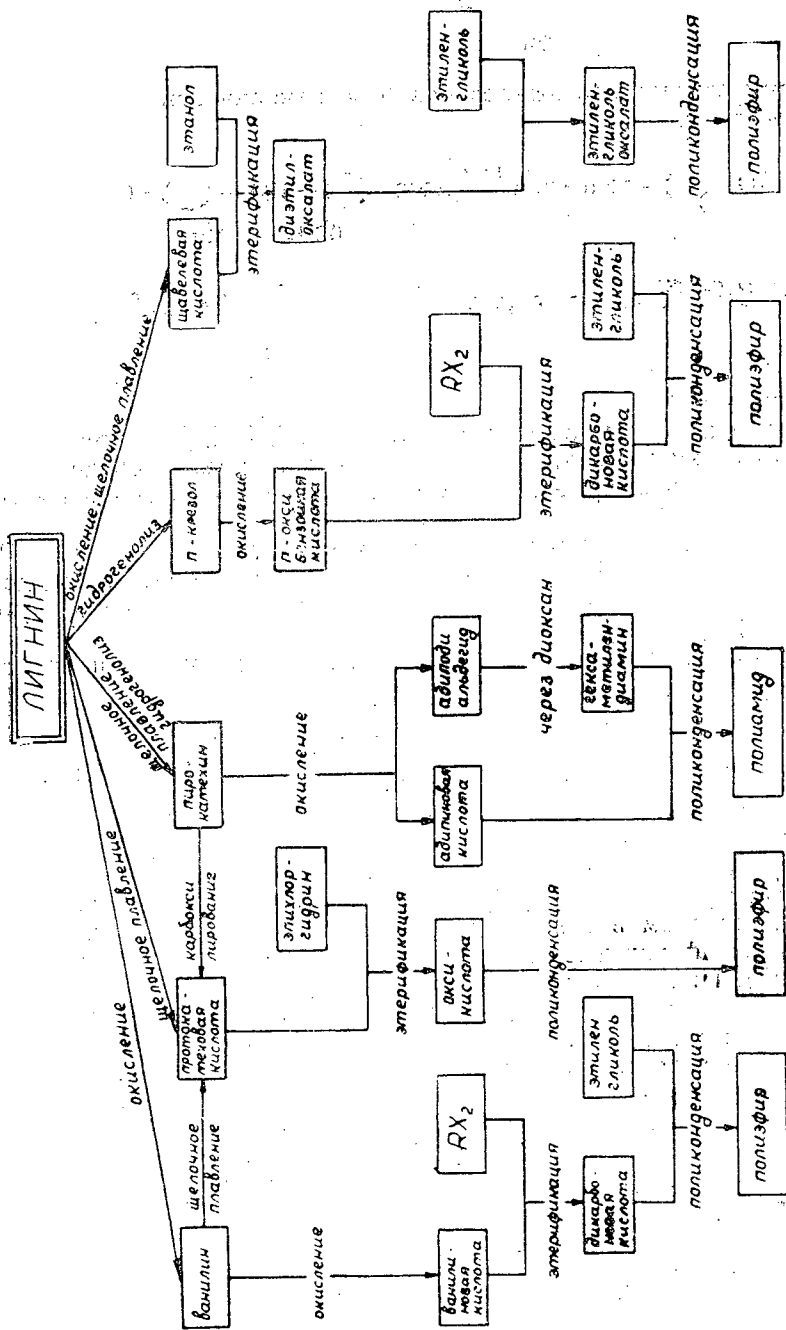
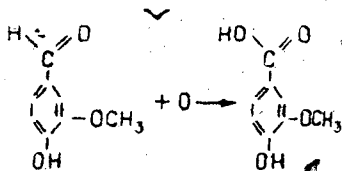
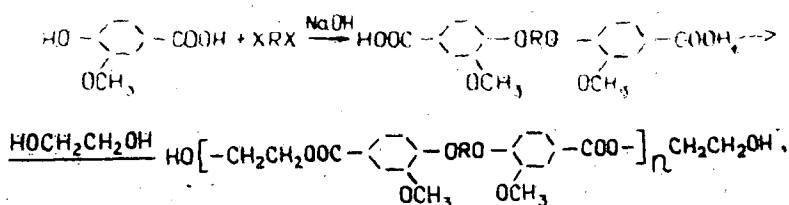


Рис. 1



Схему синтеза полиэфира на базе ванилиновой кислоты можно представить так:

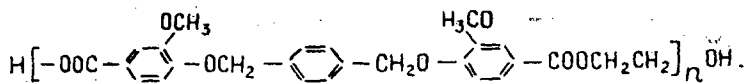


где X — галоген.

По американским патентным данным [10], [22], [23], этерификацией ванилиновой кислоты этилендибромидом в щелочной среде получают дикарбоновую кислоту, а на базе ее и этиленгликоля — линейный полиэфир.

Линейные полиэфиры можно получить действием на ванилин  $\text{RCI}_2$  в щелочной среде с последующим окислением альдегидных групп до карбоксильных и дальнейшей поликонденсацией до волокнообразующего полимера [17], [25].

Такамуку и Хатихамы [5] синтезировали из ванилина полиэфир.



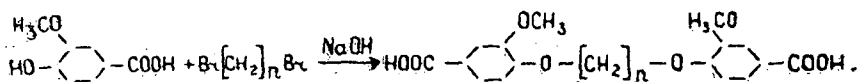
Синтез производили по следующей схеме: из ванилина получали ванилиновую кислоту, последнюю этерификацией метанолом переводили в метиловый эфир ванилиновой кислоты, который при взаимодействии с дихлор-*p*-ксилолом в щелочной среде образовывал диметиловый эфир 1,4 (2-метоксифеноксиметил)-бензолдикарбоновой-4,4 кислоты (выход 60—76,5%). При нагревании этого эфира при температуре 200°С с этиленгликолем (молярное соотношение 2,5—2,8) получен полиэфир.

По японским данным [20], ванилин при действии монохлоруксусной кислоты превращается в двухосновную кислоту, а при действии пропиленбромгидрина — в оксикислоту. На основе этих кислот можно получить волокнообразующие полиэфиры и полиамиды.

Бок [27] предлагает получать линейные полимеры пропускаям окиси этилена в ванилиновую кислоту при температуре 75°С в щелочном водном растворе. Образуется оксикислота с  $t_{пл}$  198—201°С, при нагревании которой в вакууме получается твердый полиэфир, пригодный для формирования в нити.

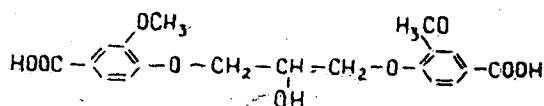
На основе ванилина синтезированы также полиангидриды и полимеры, содержащие уретановые, карбамидные или амидные группировки [5], [6]. Полиангидриды были получены взаимодействием  $\alpha$ ,  $\omega$ -бис-(2-метокси-4-карбоксифенокси)-алканов с уксусным ангидридом.  $\alpha$ ,  $\omega$ -бисалканы получали из ванилиновой кислоты и  $\alpha$ ,  $\omega$ -дибромалканов (выход 70%) по реакции



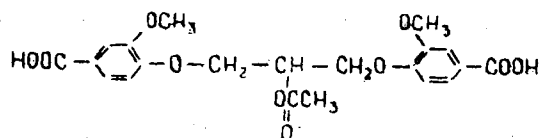


Поликонденсацию проводили в вакууме при температуре 200—250° С.

По другим данным [7], волокнообразующие полимеры получают этерификацией ванилиновой кислоты эпихлоргидрином с получением дикарбоновой кислоты



Ацетилирование этой кислоты дает



Гексаметилендиаминные соли этих кислот при нагревании в вакууме поликонденсируются в полиамиды.

Таблица 1

Полимеры	Температура плавления, °С	Температура размягчения, °С
<b>Полиэфир а</b>		
$\text{—OC—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—OCH}_2\text{CH}_2\text{O—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—COO}[\text{CH}_2]_2\text{O—}$	200—210	80—85
$\text{—OC—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—COO}[\text{CH}_2]_2\text{O—}$	95—105	52—55
$\text{—OC—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—COO}[\text{CH}_2]_2\text{O—}$	93—117	—
$\text{—OC—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—OCH}_2\text{CH}_2\text{—O—CH}_2\text{CH}_2\text{O—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—COO}[\text{CH}_2]_2\text{O—}$	95—118	—
$\text{—OC—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—OCH}_2\text{—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \diagdown \end{array} \text{—CH}_2\text{O—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—COO}[\text{CH}_2]_2\text{O—}$	119—125	—
<b>Полиангидриды</b>		
$\text{—OC—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—O—}[\text{CH}_2]_n\text{—O—} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}_6\text{H}_3 \\ \diagdown \end{array} \text{—COO—}$		
$n=2$	172—220	—
$n=3$	162—175	—
$n=4$	160—172	—
$n=5$	122—140	—

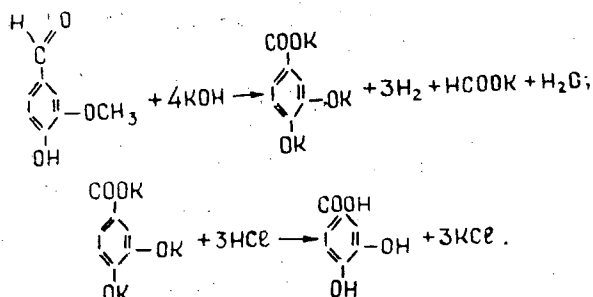
Полиэфиры на основе ванилиновой кислоты подобны полиэфирам из терефталевой кислоты. Чаще всего они бесцветны, имеют высокую температуру плавления, стойки к органическим растворителям, обладают способностью формоваться. Температуры плавления и размягчения полимеров на основе ванилиновой кислоты приведены в табл. 1 [5], [10]. Значительное различие между температурами плавления и размягчения связано с наличием метоксильных групп в каждом ароматическом кольце (асимметричная структура молекул).

О промышленном производстве такого типа волокна мы пока не имеем данных. Известно лишь, что в Японии строится опытный завод по получению волокна на основе ванилиновой кислоты. Экономическая целесообразность такого производства в настоящее время сомнительна, так как себестоимость ванилина, получаемого из лигнина, довольно высока. Относительно невысокое качество волокна, низкий процент превращения лигнина в полезные продукты и использование в этом случае только сульфитных щелоков, а не любых лигносодержащих отходов, делают этот путь утилизации лигнина малоэффективным.

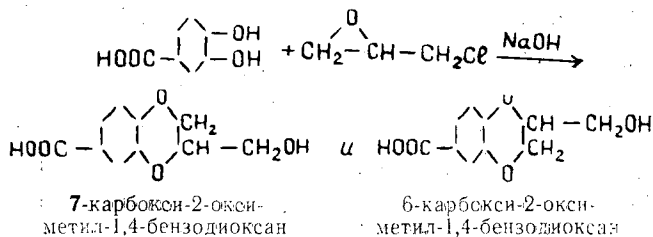
#### Превращение лигнина в волокнообразующий полимер через протокатеховую кислоту

Более ценное по качеству волокно получают на основе протокатеховой кислоты. Она образуется при сплавлении лигнина со щелочами. Наибольший выход кислоты (до 19% от веса исходного лигнина) был получен Хейзером и Винцвольдом [15] при сплавлении солянокислотного елового лигнина с едким кали (в соотношении 1:10) при температуре 270—280°С в атмосфере водорода.

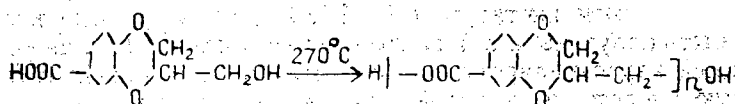
Получить протокатеховую кислоту из лигнина можно и через ванилин, сплавлением его со щелочью. Реакция идет по следующей схеме:



Бок и Андерсон [11], [12], [13], [14], [24] предложили способ получения линейного полиэфира на основе протокатеховой кислоты. С этой целью протокатеховую кислоту этерифицировали эпихлоргидрином в присутствии едкого натра. В результате получили производное 1,4-бензодиоксана, содержащее одну первичную гидроксильную группу и одну карбоксильную группу. Синтез шел по схеме



Поликонденсацию этих оксикислот проводили в вакууме (0,2 мм рт. ст.) при температуре 270°С в течение 17 час.



Полученный полимер расплавляли и продавливали через фильеры (диаметр 0,4 мм) азотом. Получаемые нити пропускали через водяную ванну, имеющую постоянную температуру, затем наматывали на барабан, снабженный регулятором скорости. Таким образом осуществляли вытягивание нити. Качественные показатели этого типа волокна в сравнении с волокном на базе ванилиновой кислоты приведены в табл. 2 [13].

Таблица 2

Показатели	Волокно на основе протокатеховой кислоты	Волокно на основе ванилиновой кислоты
Температура плавления, °С	210—215	200—210
Температура размягчения, °С	145	80—85
Прочность, Г/денье	4,4	4,2
Удлинение, %	37	30

Волокно окрашивается и незначительно поглощает влагу. Полиэфир из протокатеховой кислоты и эпихлоргидрина растворим в о- и м-крезоле, диметилформамиде, в смеси фенола с тетрабромэтаном (в соотношении 1 : 3), что подтверждается рядом других работ [4], [19], [20], [21]. Недостаток этого волокна — низкая температура размягчения при относительно высокой температуре плавления, что объясняется наличием в исходном мономере двух изомеров оксикислоты. Исследованиями установлено, что при частичном удалении одного из изомеров точка плавления полимера повышается до 310°С, а точка размягчения — до 170°С.

Исследовательские работы по получению такого волокна проведены фирмой «Рэйонир инкорпорейтед», которая организует производство только протокатеховой кислоты из сульфитных щелоков. Японское общество «Коукайгоу рейн энд палп Ко» предполагает построить фабрику по производству полиэфирного волокна типа «дакрон» из лигнина на основе протокатеховой кислоты производительностью 10 T в сутки.

В связи с возросшим интересом к протокатеховой кислоте особое значение приобретает разработка экономически выгодного способа ее получения из лигносодержащих отходов.

М. И. Чудаков и С. И. Сухановский [3] предложили способ одновременного получения протокатеховой кислоты и активированного лигнина для резиновой промышленности путем щелочной плавки гидролизного лигнина в среде инертного теплоносителя. Выход протокатеховой кислоты составляет при этом 5% от исходного продукта, а активированного лигнина — 40—50% при расходе едкого натра, равного весу лигнина.

Имеется японский патент [29] на получение протокатехового альдегида из лигнина хвойных пород, выход которого составляет 43%.

### Превращение лигнина в волокнообразующий полимер через пирокатехин

Пирокатехин в значительных количествах содержится в смоле пиролиза древесины. Недавно разработан способ получения пирокатехина из

каменноугольной смолы [1]. При сплавлении лигнина со щелочами получается до 23% пирокатехина. Технический способ получения пирокатехина из лигнина был разработан в Центральном научно-исследовательском лесохимическом институте (ЦНИЛХИ); значительные количества его могут быть получены и при гидрогенолизе лигнина (см. ниже).

Реакцией карбоксилирования пирокатехин можно превратить в протокатеховую кислоту, из которой, как уже было сказано, получается волокнообразующий полимер. Другой путь — получение полиамида типа найлон 66. С этой целью пирокатехин окисляли азотной кислотой до адипиновой кислоты. При окислении пирокатехина перекисью водорода образуется адиподинальдегид, из которого через диоксан можно получить гексаметилендиамин — вторую составляющую часть найлона 66. В литературе имеются сообщения об экономической целесообразности такого способа, запатентованного в Японии [16].

#### *Превращение лигнина в волокнообразующие полимеры через *n*-крезол*

По способу Ногучи-Осима [16] *n*-крезол получают путем гидрогенолиза лигнина при температуре 350—400° С и давлении 200 атм в течение 0,5—1,0 час. Суммарный выход низкомолекулярных продуктов 80—85%. Выход индивидуальных продуктов от абсолютно-сухого лигнина в процентах:

<i>n</i> -крезол	25,0;	пирокатехин	12,0;
<i>n</i> -этилфенол	6,0;	нейтральное масло	11,0;
<i>n</i> -пропилфенол	6,0;	тяжелое масло	22,5.

В Японии по этому способу работает опытная установка производительностью 30 кг низкомолекулярных продуктов в день и строится — производительностью 1 т в сутки. Разработан также проект установки мощностью 20 тыс. т в год.

Окислением *n*-крезола можно получить *n*-оксибензойную кислоту, а на базе последней — волокнообразующие полимеры [18], [26].

По другому способу [28], также запатентованному в Японии, *n*-оксибензойную кислоту получали окислением предварительно обработанного в  $\text{POCl}_3$  лигнина перманганатом калия в щелочной среде.

Опытное прядение волокна на базе *n*-оксибензойной кислоты дало положительные результаты.

Способ получения высококачественного полимера на базе щавелевой кислоты, по-видимому, может явиться еще одним из путей использования лигнина. При окислении лигнина азотной кислотой получается до 50% щавелевой кислоты [2].

В заключение следует сказать, что при использовании лигнина для получения полимерных продуктов (смешанных смол, различных продуктов для пластмасс, пленкообразующих и т. п.) путь превращения лигносодержащих отходов в волокнообразующие полимеры — наиболее сложен.

Приведенный обзор свидетельствует о том, что имеющихся экспериментальных материалов еще недостаточно для практической реализации такого пути утилизации лигнина. Необходимы углубленные экспериментальные исследования по химическим превращениям лигнина в мономеры, которые позволили бы выбрать наиболее целесообразный и экономически оправданный способ переработки лигносодержащих отходов в волокнообразующие полимеры.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева, VI, № 6, 697 1961. [2]. А. Н. Краснова, Э. А. Паршина, С. И. Сухановский, М. И. Чудakov. ЖПХ, т. XXX, вып. 5, 802, 1957. [3]. Материалы конференции по химии и технологии лигнина. Труды ЛТА, вып. 75, Л., 1956. [4]. РЖХим, № 17, 59476, 1958. [5]. РЖХим, № 17, 72105, 1960. [6]. РЖХим, № 24, 99361, 1960. [7]. РЖХим, № 3, ЗП335, 1961. [8]. Труды конференции по развитию производительных сил Восточной Сибири. Химическая промышленность, изд-во АН СССР, 1960. [9]. М. И. Чудakov. Использование лигнина и лигносодержащих отходов за рубежом. ЦБТИ. Бумдревпром, 1960. [10]. L. H. Bock, I. K. Anderson. J. Polymer Science, 17, 553, 1955. [11]. L. Bock, I. Anderson. Journal of Textile Institute, 48, № 8, 421, 1957. [12]. L. Bock, I. Anderson. Chem. Eng. News, 35, № 15, 29, 1957. [13]. L. Bock, I. Anderson. J. Polymer Science, 28, № 116, 126—127, 1958. [14]. Chim. et Ind., № 6, 77, 1957. [15]. E. Heuser und A. Winsvold. Cellulose chem., 4, 49, 62, 1923; Ber., 56, 902, 1923. [16]. K. Kratzl. Holzforschung und Holzverwertung, № 1, 1961. [17]. D. V. Land. Proc. Roy Austral Chem. Inst., 24, № 24, 357, 1957. [18]. A. Linkс, R. Ott, E. Leggewie, A. Hassanein, L. Lankl. Monatsh. Chem., 87, 552, 1956. [19]. Svensk Trävaru Tidn, № 4, 222, 1957. [20]. Юрж Масаси и др. Japan Chem. Fibres Monthly, II, № 1, 52—58, 1958; РЖХим, № 4, 1960. [21]. Англ. пат. 734800, 1955. РЖХим № 6, 19840, 1958. [22]. Пат. США 2686198, 1954; С. А. 48, 14296, 1954. [23]. Пат. США 2630454, 1953; С. А. 48, 2108, 1954. [24]. Пат. США 2699438, 1955; С. А. 9964, 1955. [25]. Пат. США 2724723, 1955; С. А. 50, 10779, 1956. [26]. Пат. США 2728747; РЖХим, 66635, 1956. [27]. Пат. США 2755273, 1956; С. А. 51, 1276, 1957. [28]. Японск. пат. 5218, 1954; С. А. У, 49, 13650, 1955. [29]. Японск. пат. 4677, 1956; РЖХим, № 4, 13339, 1959.

Поступила в редакцию  
9 января 1963 г.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2-МЕТОКСИ-4-ПРОПИОНИЛФЕНОЛА МЕТОДОМ ВЕРЛЕЯ\*

Е. Д. ГЕЛЬФАНД

Аспирант

(Архангельский лесотехнический институт,  
Проблемная лаборатория)

При применении метода определения гидроксильных групп по Верлею [5] к лигнинным веществам и модельным соединениям было обнаружено, что 2-метокси-4-пропионилфенол (рис. 1) — типичный структурный элемент лигнина [1] — определяется примерно на 75%. Увеличение времени ацетилирования не приводило к изменению результата.

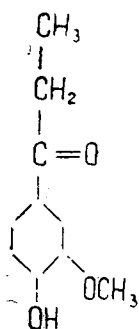


Рис. 1. 2-метокси-4-пропионилфенол.

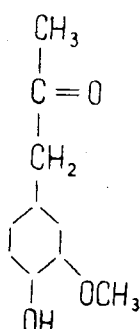


Рис. 2. Гваяцилацетон.

Найденный факт можно объяснить либо неполнотой ацетилирования, которая имеет место, например, у 2, 4, 6,—трехзамещенных фенолов [6], либо частичным гидролизом фенольного ацетата в условиях определения.

Для проверки последнего предположения фенольный ацетат, образующийся при определении по Верлею, был выделен из реакционной смеси путем испарения уксусного ангидрида и пиридина на часовом стекле при комнатной температуре. Продукт был белого цвета, хорошо кристаллизовался и не имел запаха. Растворяли 100 мг фенольного ацетата в 4 мл пиридина и, как при обычном определении, к пиридиновому раствору добавляли 7—10 капель воды, а затем — после перемешивания — еще 40 мл воды. Полученный раствор титровали 0,2 н

\* Работа выполнена под руководством доц., канд. техн. наук Б. Д. Богомолова.

щелочью с индикатором фенолфталеином. На титрование в разных опытах расходовалось 0,60—0,80 мл щелочи.

Расход щелочи при титровании свидетельствует о гидролизе уксуснокислого эфира 2-метокси-4-пропионилфенола в пиридин-водной среде. Повышенная гидролизуемость данного соединения объясняется, на наш взгляд, сопряжением карбонильной группы (в *p*-положении к фенольному гидроксилу) с бензольным ядром. Такое сопряжение значительно увеличивает кислотность данного фенола по сравнению, например, с изомерным ему гваяцилацетоном (рис. 2). Влияние местоположения карбонила в *p*-заместителе на кислотность фенольного гидроксила отчетливо проявляется на примере деоксиваниллоина (рис. 3), который в растворе диметилформамида титруется метилатом калия как двухосновная кислота [2].

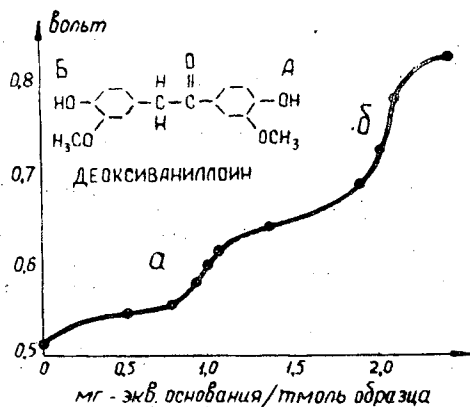


Рис. 3.

В результате подобного сопряжения фенольный эфир становится настолько ионизованным, что подвергается гидролизу в пиридин-водной среде.

Следует отметить, что фенольные эфиры карбоновых кислот вообще более ионизированы, чем алифатические эфиры, и в некоторых растворителях способны подвергаться разложению с образованием соответ-

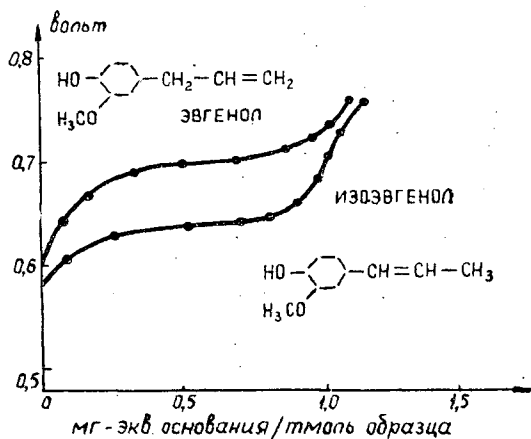


Рис. 4.

вующего фенола и производного карбоновой кислоты. Так, например, в растворе этилендиамина они количественно титруются [3] метилатом калия, потребляя один эквивалент основания. Подобно этому, в основе метода титрования многих фенольных ацетатов в растворе ацетона при помощи бензол-метанольного раствора гидроокиси тетрабутиламмония [4] также лежит реакция разложения эфира на фенол и метилацетат. Алифатические эфиры карбоновых кислот в этих условиях не разлагаются.

Можно ожидать, что и изоэвгенол — другой структурный элемент лигнина — при определении по Верлею также будет давать заниженные результаты. В молекуле изоэвгенола имеется сопряжение углерод — углеродной двойной связи с ядром в *п*-положении к фенольному гидроксилу, придающее ему более кислые свойства по сравнению с эвгенолом (сравнить кривые титрования [2] эвгенола и изоэвгенола — рис. 4).

Таким образом, метод Верлея не применим к анализу фенольных веществ обсуждаемых типов, если они дают растворимые ацетаты.

#### Выводы

1. Исследовано применение метода Верлея к определению 2-метокси-4-пропионилфенола.

2. Показано, что уксуснокислый эфир данного фенола подвержен гидролизу в пиридин-водной среде, что приводит к заниженным результатам.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. E. Adler. Paperi ja Puu No 11, 1961, 634. [2]. J. Butler, T. Czepiel. Anal. Chem. 28, No 9, 1956, 1468. [3]. A. Glenn, J. Peake. Anal. Chem. 27, 1955, 205. [4]. B. Smith, A. Haglund. Acta Chem. Scand. 14, 1960, 1349. [5]. A. Verley, F. Bölsing. Ber. 34, 1901, 3354. [6]. F. Wild. Estimation of organic compounds. Cambridge at the University press, 1953, p. 85.

Поступила в редакцию  
18 февраля 1963 г.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТВОЛОВОГО ОСМОЛА В СУЛЬФАТ-ЦЕЛЛЮЛОЗНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Б. С. ФИЛИППОВ**

Аспирант

**А. Е. СОСНИН**

Доцент, кандидат технических наук

Одно из важнейших направлений в расширении производства канифольных продуктов состоит в увеличении использования побочных лесохимических продуктов сульфатной варки целлюлозы и получении на их основе сульфатного скипидара, таллового масла и канифоли. Производство канифольных продуктов из отходов сульфатной варки целлюлозы — самый дешевый способ их получения. Он требует значительно меньших затрат труда и капитальных вложений, чем при получении канифоли методом экстракции из пневого осмола или путем переработки живицы. Себестоимость таллового масла почти в два раза ниже себестоимости экстракционной канифоли и в четыре раза — живичной.

Промышленный выход сульфатного мыла зависит от смолистости исходного сырья и степени извлечения мыла из черных щелоков. В последнее время сульфат-целлюлозные заводы все в больших количествах используют малосмолистые отходы лесопиления. Намечается широкое вовлечение в качестве сырья малосмолистой еловой и дихтовой древесины, а также древесины лиственных пород. Все эти мероприятия повлекут за собой снижение выхода сульфатного мыла. Для повышения выхода побочных продуктов предлагают использовать в качестве добавки к обычному сырью свежие сосновые пни, сосновые откомлевки, стволовый осмол [1], [2], [4], [6]. Как показали опыты, применение свежих сосновых пней и комлевой древесины позволит резко увеличить выпуск лесохимических продуктов на существующих заводах, не меняя технологии производства. Выход целлюлозы и ее качество при этом останутся без изменения.

В настоящее время стволовый осмол служит сырьем для смоло-скипидарного производства. Экономическая эффективность этого метода невысока [5]; ее можно значительно увеличить путем комплексной переработки стволового осмола в сульфат-целлюлозном производстве. Было предложено [1], [2] использовать осмол для варки сульфатной целлюлозы с предварительным обессмоливанием щепы 2%-ной NaOH. При этом из мыльного щелока выделяли канифольное мыло, а обессмоленную щепу использовали как сырье для получения сульфатной целлюлозы. Исходным материалом служил стволовый осмол Сиверского лесничества с содержанием канифоли 9%. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ варки	Вариант сульфатной варки	Расход активной щелочи, % от абс. сухой древесины	Сульфатное мыло		Целлюлоза			
			абс. сухое, % от абс. сухой древесины	влажность, %	абс. сухая, % от абс. сухой древесины	непоовар., % от абс. сухой древесины	разрывная длина, м	число Бьеркмана
1	С предварительным выщелачиванием канифоли из древесины . . .	15	—	—	42,7	3,6	6567	129
2	" . . . . .	20	—	—	41,5	Нет	6990	71
3	" . . . . .	22	6,0	39,0	40,0	Нет	6228	71
4	Без выщелачивания . . .	25	4,6	33,0	42,3	Нет	4940	61

Как видно из табл. 1, при варке стволового осмола без предварительного выщелачивания канифоли [1], [2], [5] сбор абс. сухого сульфатного мыла составляет 4,6% от абс. сухой древесины, что (при содержании в щепе смолистых 9%) соответствует выходу таллового масла 48% от исходного количества канифоли. Предварительное выщелачивание канифоли дает возможность повысить сбор мыла до 6% от веса абс. сухой древесины; выход масла в этом случае — около 62% от содержания канифоли в древесине. Стволовой осмол имеет здоровую малоизмененную древесину; это хороший материал для получения сульфатной целлюлозы.

Изложенный метод переработки стволового осмола — по существу комбинация канифольно-мыльного с сульфат-целлюлозным.

В настоящей статье приведены результаты работ по изучению возможности прямой переработки стволового осмола, заготовленного в Архангельской области, в сульфат-целлюлозном производстве. Для опытных варок использовали стволовой осмол Вельского химлеспрома, полученный при 8-летней осмолородочке соснового насаждения V класса бонитета по бору-беломошнику с полнотой насаждения 0,5, IV класса возраста. Средняя проба отобрана из партии осмола объемом около 1 м<sup>3</sup>. Из осмолородочных хлыстов через каждые 50 см выпиливали диски толщиной 20 мм, затем из них была получена щепа размером 20 × 20 × 3 мм. В ряде лабораторных варок применяли смеси осмольной и обычной технологической щепы Соломбальского бумажно-древянообрабатывающего комбината с содержанием стволового осмола 20, 30 и 50%. Кроме того, в лабораторных условиях проведены контрольные варки щепы СБДК без добавки стволового осмола. Анализы средних проб щепы, стволового осмола и их смесей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сырье	Содержание канифоли, % от древесины (20% ной влажности)	Сумма смолистых, % от древесины (20% ной влажности)	Содержание коры в щепе, %	Групповой состав канифоли, %				Окисленные по методу Швальбе в модификации ЦНИИЛХИ
				неомыляемые вещества	окисленные вещества	жирные кислоты	смолистые кислоты	
Стволовой осмол . . . . .	10,17	12,08	0,8	6,10	17,23	12,62	64,06	13,48
Древесина комбината . . . . .								
образец 1 . . . . .	3,36	3,60	7,7	7,62	14,34	41,46	36,80	9,78
образец 2 . . . . .	3,12	3,28	8,5	8,57	11,38	—	—	—
Щепа с содержанием стволового осмола, %								
50 . . . . .	6,72	7,52	4,3	6,86	15,78	27,04	50,43	11,62
30 . . . . .	5,44	6,00	5,6	7,16	15,21	32,81	44,98	10,89
20 (с 1 образцом) . . . . .	4,72	5,28	6,3	7,27	15,25	36,05	42,18	10,52
20 (со 2 образцом) . . . . .	4,36	4,92	7,0	7,08	12,55	32,10	48,75	—

Содержание канифоли определяли экстракцией серным эфиром в аппарате Иванова, содержание летучих — путем гетерогенной отгонки по варианту с натриевой щелочью, а групповой состав канифоли — по обычному методу [3].

Лабораторные варки сульфатной целлюлозы из стволового осмола и его смесей проводили в стационарном автоклаве с электрическим обогревом. В автоклав загружали 300—400 г щепы и заливали расчетное количество щелока и воды. Температурный режим опытных варок принят аналогичным режиму варок СБДК: заварка до температуры 170° С — 3 час, варка при 170° С — 30 мин. Среднее отклонение температуры в период варки от принятой по режиму составило в опытах +0,9° С. Жидкостный модуль лабораторных варок 4,1. Для опытов использовали варочные щелока следующего качества: общая щелочность 95,0—95,4 г/л, содержание активной щелочи 84,9—86,3 г/л, сульфидность 23—24%. В опытных варках расход активной щелочи изменялся в пределах 16,7—18,5% от веса абс. сухой древесины.

После окончания варки и быстрого охлаждения автоклава до 50—60° С целлюлозу отделяли от черного щелока и трехкратно промывали водой при температуре 60—70° С каждый раз из расчета 2,5 л на 1 кг загруженной в автоклав щепы. Промытую целлюлозу высушивали до воздушно-сухого состояния, а затем определяли ее влажность и выход. Были получены также образцы целлюлозы из стволового осмола в заводских условиях. Варку щепы проводили в специальном патроне, изготовленном из нержавеющей стали, который загружали щепой и помещали в варочный котел вместе с обычной щепой. После окончания варки целлюлозу из патрона извлекали, подвергали промывке и анализировали.

Для полученных образцов сульфатной целлюлозы определяли перманганатную жесткость, содержание смол и жиров и механические показатели [7], [9]. В процессе сульфатной варки кислая часть смолистых веществ древесины образует натриевые соли, которые в некотором количестве остаются в целлюлозе и при экстракции серным эфиром из нее не выделяются. С целью перевода солей в кислоты, хорошо растворимые в эфире, проводили обработку образцов целлюлозы 0,1 н раствором соляной кислоты в течение 10 мин. После промывки и высушивания в ней определяли содержание смол и жиров экстракцией серным эфиром в аппарате Иванова. Для определения механических показателей образцы целлюлозы дезинтегрировали и размальзовали на мельнице Лампена до 58—62° ШР. Отливки приготавливали на листоотливочном аппарате ЛО. вес 1 м<sup>2</sup> отливок 100 ± 1 г. Из отливок вырезали полоски целлюлозы и кондиционировали при комнатной температуре и влажности 60—65%. Разрывной груз определяли на динамометре, сопротивление раздираанию — на аппарате Эльмендорфа. Полученные результаты по выходам целлюлозы и ее качеству приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, выход целлюлозы на абс. сухую древесину несколько увеличивается с уменьшением количества стволового осмола в щепе, что объясняется различным содержанием сухой обессмоленной древесины в тонне сырья. Определение смол и жиров показало, что неподкисленная целлюлоза практически не содержит веществ, экстрагируемых серным эфиром. После кислотной обработки количество их в среднем 0,2%. Механические показатели и перманганатная жесткость соответствуют требованиям стандарта для целлюлозы упаковочных бумаг. Отливки из смеси 20% целлюлозы стволового осмола заводской варки и 80% целлюлозы, взятой из того же варочного котла, где проводили варку осмола, имели разрывную длину 10668 м. Целлюлоза, вырабатываемая на комбинате в этот период, имела разрывную длину 9350—

Количество стволового осмола в щеле, %	№ варок	Расход активной щелочи, % от абс. сухой древесины	Выход абс. сухой целлюлозы, %, от		Непровар., % от абс. сухой древесины
			абс. сухой древесины	сухой обессмоленной древесины	
100	1	18,4	43,1	50,8	0,56
	2	18,5	43,3	51,0	0,65
	3*	17—17,5	44,6	52,0	1,03
50	4—5	17,5	45,6	50,3	0,80
30	6—7	17,4	45,5	49,2	Нет
20	8—9	17,3	46,3	49,4	Нет
	10—11	17,3	45,9	49,1	0,2
0	12	17,0	47,0	49,2	Нет
	13	17,4	46,4	48,7	Нет
	14	16,7	64,3	—	—

\* Варка проведена на СБДК.

10948 м при среднем значении 10270 м. Таким образом, целлюлоза из стволового осмола и его смесей по качеству не уступает получаемой на комбинате из обычного сырья.

Для сравнения расхода активной щелочи рассмотрены варки № 4—7, 10, 11 и 13, в результате которых получена целлюлоза с близкими значениями выходов и перманганатной жесткости. Расход активной щелочи на 1 т целлюлозы (12%-ной влажности) для варок № 4 и 5 составляет 338 кг, для 6 и 7 — 336,5 кг, для 10 и 11 — 332 кг и для варки № 13 — 331 кг, отсюда среднее увеличение расхода активной щелочи на каждые 10% содержания стволового осмола в сырье равно 0,4% от расхода на варку обычной древесины. Увеличение расхода активной щелочи, рассчитанное по смолистости варочных смесей, на каждые 10% содержания осмола составляет 0,36—0,45%, что хорошо согласуется с опытными данными.

Для определения количества и качества сульфатного мыла и составления баланса смолистых веществ отработанные щелока от лабораторных варок стволового осмола и его смесей и две первые промывные воды от промывки целлюлозы собирали и анализировали для каждой варки отдельно. Количество таллового масла в щелоках, определенное по общепринятой методике экстрагированием серным эфиром [3], составило в среднем 99% от экстрагируемых серным эфиром в исходном сырье. В дальнейшем щелок упаривали под вакуумом до плотности в пределах 1,15—1,22 т/м<sup>3</sup> и помещали в специальный сосуд, где проводили отстаивание сульфатного мыла в течение 15 час при температуре 20° С. Объем заливаемого в мылоотделитель щелока во всех опытах был постоянным.

Мыло, всплывшее на поверхность щелока в виде рыхлого слоя мажеобразной консистенции, тщательно снимали, а попавший в него щелок отфильтровывали через слой стеклянной ваты. Влажность образцов сульфатного мыла колебалась от 34,6 до 39,4%. На основании опытных данных для каждого варианта варок были построены кривые, характеризующие зависимость степени извлечения мыла от плотности щелока (рис. 1). Полученные данные показывают, что плотность щелока, при которой начинается интенсивное выделение мыла, с повышением содержания стволового осмола в сырье возрастает от 1,16—1,18 т/м<sup>3</sup> для опытов № 6—13 до 1,19—1,20 т/м<sup>3</sup> — для опытов № 1—5, то есть омыленные смолистые вещества стволового осмола коагулируют из щелока

Таблица 3

Перманганатная жесткость	Содержание смол и жиров, %		Разрывная длина, м	Сопротивление раздиранию, Г	Степень размола, °ШР
	в непоокисленной целлюлозе	в подкисленной целлюлозе			
115,5	Нет	0,27	10416	124	58,0
114,1	Нет	0,16	10904	119	61,5
121,5	0,09	0,25	10872	124	60,5
119,2	—	—	—	—	—
117,0	—	—	—	—	—
—	Нет	0,15	10547	112	59,0
119,3	0,08	0,28	10780	116	60,5
123,7	—	—	—	—	—
118,8	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—

при более высокой концентрации электролита, чем у обычной древесины.

Относительный выход сульфатного мыла, или степень извлечения его в расчете на талловое масло также находится в зависимости от содержа-

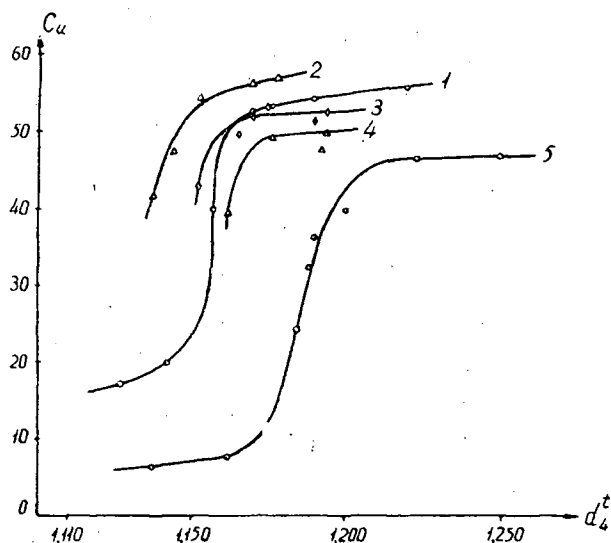


Рис. 1. Зависимость степени извлечения сульфатного мыла  $C_a$  от плотности упаренного черного щелока  $d_4^{20}$  для лабораторных варок стволового осмола и его смесей с технологической щепой СБДК.

1 — технологическая щепка СБДК; 2, 3, 4 — щепки с добавкой стволового осмола 20, 30 и 50% соответственно; 5 — стволовой осмол.

ния осмола в сырье. Максимальная степень извлечения мыла 55—58% получена для щелоков от варок 20% смеси осмола с обычной древесиной. Степень извлечения мыла в варках № 6 и 7 и контрольных опытах была на 3—4% ниже, а в опытах № 1—5 не превышала 50%. Таким образом, проведенные опыты показывают, что сульфатное мыло из стволового осмола обладает несколько пониженной способностью к коагуляции из черного щелока, чем мыло смолистых обычной древесины.

В ряде опытов из щелоков, полученных при варке стволового осмола, выделение мыла производили при температуре  $70^{\circ}\text{C}$  в течение 5 час. В этом случае при плотности щелока  $1,18\text{--}1,22\text{ г/м}^3$  сразу же начиналась коагуляция мыла. Непродолжительное термостатирование приводило к быстрому высаливанию мыла из щелоков в виде плотных комков. Дальнейшее отстаивание в течение 5 час не давало увеличения сбора мыла, а отстаивание при комнатной температуре за 15 час повышало выход лишь на  $1,5\text{--}2\%$ . Из щелоков варок с  $20\%$  содержанием осмола в сырье за 5 час выделялось около  $98\%$  мыла от общего его сбора после 15 час отстаивания.

Выход сульфатного мыла в значительной мере зависит от природы омыленных смолистых веществ. На существование такой зависимости указывал В. Д. Худовеков [10], однако при этом он не привел каких-либо данных, характеризующих ее. Известно также, что выход мыла из свежей древесины получается всегда выше, чем из древесины, хранившейся продолжительное время. По-видимому, причина этого — пониженная способность к коагуляции из щелока окисленных смолистых веществ, образовавшихся при хранении древесины на воздухе.

Косвенное подтверждение правильности этого положения — данные Ф. Т. Солодкого [8], который наблюдал пониженную способность к высаливанию из мыльного щелока окисленных веществ (НПЭ) пневого осмола.

Сопоставление группового состава смолистых веществ сырья, использованного для опытных варок (табл. 2), и таллового масла, полученного разложением черного щелока и сульфатного мыла (табл. 4), позволяет судить о существовании определенной зависимости между ними.

Таблица 4

Побочные продукты сульфатной варки целлюлозы	Содержание стволового осмола в сырье, %	Неомыляемые вещества, %	Окисленные вещества, %	Жирные кислоты, %	Смоляные кислоты, %	Окисленные по методу Швальбе (в модификации ЦНИЛХИ), %
Талловое масло варок №						
1	100	5,00	11,26	19,93	63,92	10,10
2	100	6,44	9,96	22,76	61,04	9,24
6, 7	30	6,81	10,24	38,32	44,64	—
10, 11	20	7,13	9,84	40,96	42,07	8,17
12, 13	0	7,49	9,19	45,68	40,55	—
Смолистые черного щелока варок №						
8, 9	20	7,17	18,68	28,27	45,88	—
10, 11	20	7,08	22,27	70,52	—	—

Прежде всего, можно отметить пониженное содержание окисленных веществ в талловом масле по сравнению с исходными смолистыми веществами и, особенно, со смолистыми черного щелока. При варке одного стволового осмола содержание окисленных веществ в талловом масле, выделенном из мыла, примерно на  $40\%$  ниже, чем в канифоли стволового осмола. Такая же зависимость наблюдается и в варках смесей стволового осмола с обычной щепой. Средние данные, полученные при анализах проб черных щелоков и сульфатного мыла с СБДК, показывают, что содержание окисленных веществ в смолистых щелока и в выделенном из мыла талловом масле соответственно равно  $13,82$  и  $5,06\%$ . Таким образом, талловое масло имеет в  $2,3\text{--}2,7$  раза меньше веществ, нерастворимых в петролейном эфире, чем смолистые черного щелока.

Не менее характерная зависимость наблюдается между содержанием жирных и смоляных кислот. Во всех сериях варок стволового осмола и его смесей с обычной щепой содержание жирных кислот в талловом масле было выше, чем в смолистых исходного сырья, причем наибольший выход мыла (55—58%) получен в опытах с максимальным содержанием жирных кислот. Эти данные позволяют сделать вывод о том, что для получения максимального выхода мыла должно быть определенное соотношение между смоляными и жирными кислотами в смолистых веществах сырья, поэтому переработку стволового осмола в сульфат-целлюлозном производстве следует вести с учетом этой зависимости.

Количество неомыляемых веществ в сырье, талловом масле черного щелока и в выделившемся сульфатном мыле приблизительно одинаково во всех опытах.

Для определения выхода сульфатного скипидара в опытных варках производили улавливание скипидара-сырца из парогазовой смеси сдувок. Результаты опытов показали (табл. 5), что при варке древесины с 20—30% содержанием стволового осмола выход сульфатного скипидара-сырца увеличивается до 16,7—22,2 кг на одну тонну целлюлозы, вместо 5,1 кг, полученного при варке обычного сырья.

Таблица 5

Содержание стволового осмола в сырье, %	Степень извлечения сульфатного мыла из щелоков плотностью $1,17 \frac{T}{M^3}$ , %	Выход сульфатного мыла в пересчете на талловое масло, кг на 1 T		Выход сульфатного скипидара, кг на 1 T	
		абс. сухого сырья	целлюлозы	абс. сухого сырья	целлюлозы
2	52,4	20,4—22,0	38,4—41,5	2,7	5,1
20	56,1	29,9—32,4	57,4—62,2	8,7	16,7
30	52,0	32,4—35,0	62,6—67,6	11,5	12,2
50	49,0	40,0	77,2	—	—
100	46,1*	57,4	111,4	—	—

\* Степень извлечения мыла из щелока плотностью  $1,22 T/M^3$ .

В табл. 5 приведены результаты определения выхода сульфатного мыла в расчете на талловое масло, полученные при варках щепы с различным количеством стволового осмола. Из них следует, что при варке щепы с 20% добавкой стволового осмола выход таллового масла может быть увеличен на 50%. При увеличении количества осмола абсолютный выход таллового масла также увеличивается, но при этом происходит некоторое снижение относительного выхода.

Для окончательного решения вопроса о рентабельности и целесообразности переработки стволового осмола в сульфат-целлюлозном производстве необходимо провести производственные испытания и определить промышленный выход лесохимических продуктов. Предварительно можно отметить, что стоимость стволового осмола с учетом отдельного приготовления сырья и его транспортировки должна быть приблизительно равна стоимости балансовой древесины.

Использование стволового осмола в сульфат-целлюлозном производстве вместо части технологической щепы позволит значительно увеличить выпуск таллового масла и скипидара без значительных капитальных вложений.

### Выводы

1. Лабораторные варки сульфатной целлюлозы из стволового осмола и его смесей с обычной щепой показали, что расход активной щелочи 17,3—17,5% от веса абс. сухой древесины обеспечивает нормальное течение процесса варки.

2. Выход абс. сухой целлюлозы составляет 45,5—46,7% от абс. сухой загрузки. Целлюлоза имеет перманганатную жесткость 114—122, разрывную длину 10400—10900 м, сопротивление раздиранию 112—124 Г.

3. Наиболее рационально, с точки зрения полноты выделения сульфатного осмола из черных щелоков, проводить варки 20—30% смеси стволового осмола с обычной древесиной. Степень извлечения сульфатного мыла из щелоков (плотностью 1,170 г/м<sup>3</sup>) соответственно равна 56,1—52,0%, а выход таллового масла 62,2—67,6 кг на 1 т целлюлозы. Масло содержит примерно равные количества жирных и смоляных кислот и по составу близко к обычному.

4. Выход сульфатного скипидара увеличивается в 2—4 раза.

5. Переработка стволового осмола не вызывает увеличения расхода активной щелочи на тонну сырья, но повышает расход на 1 т целлюлозы в среднем на 0,4—0,5% на каждые 10% содержания стволового осмола в сырье.

6. Выделение окисленных веществ из черного щелока происходит в 2,3—2,7 раза хуже, чем сульфатного мыла в целом. Мыла жирных кислот, наоборот, высаливаются лучше, и, таким образом, происходит обогащение сульфатного мыла жирными кислотами тем больше, чем ниже их содержание в исходном сырье.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. В. Вавулин, Р. А. Котовская. Осмолородочная древесина как сырье для лесохимии. Журн. «Лесохимическая промышленность» № 3, 1935. [2]. А. В. Вавулин, С. Я. Коротов. Методы переработки смолистой древесины. Журн. «Лесохимическая промышленность» № 5—6, 1935. [3]. В. И. Вершук, Н. А. Гурич. Методы анализа сырья и продуктов канифольно-скипидарного производства. Гослесбумиздат, 1960. [4]. Н. А. Гурич и др. Комлевая сосновая древесина — полноценное сырье. Журн. «Бумажная промышленность» № 10, 1961. [5]. Ф. А. Медников. О применении стволового осмола (смоляно-подсочки) в производствах химической технологии древесины. Научные труды ЛТА, вып. 91, 1960. [6]. Научно-техническая конференция по дальнейшему развитию целлюлозно-бумажных, гидролизных и лесохимических производств. Журн. «Гидролизная и лесохимическая промышленность» № 7, 1962. [7]. А. С. Сергеев. Технологический контроль целлюлозно-бумажного производства. Гослесбумиздат, 1961. [8]. Ф. Т. Солодкий. Причины загара канифольного мыла и данные к характеристике отдельных частей канифоли. Журн. «Лесохимическая промышленность» № 7, 1934. [9]. Справочник бумажника (технолога). Т. 1, Гослесбумиздат, 1955. [10]. В. Д. Худовиков. Сульфатное мыло и талловое масло. Гослесбумиздат, 1952.

Поступила в редакцию  
2 апреля 1963 г.



## СИНТЕЗ ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНОГО ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

**В. В. ФЕФИЛОВ**

Доцент

**Е. В. КЛИНСКИХ**

Инженер

(Московский лесотехнический институт)

Промышленный синтез углеводов имеет значение как способ получения моторного топлива и исходных веществ для вторичного органического синтеза. Обширные исследования в этой области выполнены русскими химиками [1], [3]. Основные исходные вещества для синтеза — окись углерода и водород; при этом образуется смесь углеводов с числом углеродных атомов от 1 до 150. Производство базируется на переработке каменного и бурого углей, сланцев, частично торфа [2]. Малоценную неликвидную древесину для синтеза углеводов не используют, хотя громадные количества этого вида сырья позволяют получать дешевый генераторный газ с содержанием окиси углерода 20—30%, водорода 12—15% объемных, балласта в виде двуокиси углерода 10% и азота 50%. Фохт [4] описывает способ получения синтетического бензина из водяного газа, полученного при газификации древесного угля.

В лабораторных условиях нами проведены опыты по получению жидкого топлива на основе древесного генераторного газа.

Газ (с содержанием окиси углерода и водорода 1,7:1) поступал с камерной газустановки, работавшей на древесных отходах. Опыты вели на кобальт-ториевом катализаторе (при атмосферном давлении) в каталитической печи Гергеуса длиной около 1 м. Жидкие продукты синтеза конденсировали и разделяли фракционно в виде бензина, масла и парафина. Опыты поставлены без очистки газа от сернистых соединений, кислорода, двуокиси углерода, и с очисткой его от сернистых соединений.

Кобальт-ториевый катализатор восстанавливали водородом при 375°С в течение 17,5 час. Затем для разработки катализатора в течение 15 час при температуре 185—190°С проводили синтез из искусственной смеси окиси углерода и водорода (в соотношении один объем к двум).

Работу проводили одновременно на двух печах с одним и тем же количеством катализатора (19,1 г). Через катализаторную трубку печи № 1 древесногенераторный газ пропускали без очистки, в печи № 2 — подвергали предварительной очистке путем пропускания через раствор железосинеродистого калия. Поступающий для синтеза с камерной установки и отработанный газ анализировали на газогенераторе системы ВТИ. Данные анализа исходного и отработанного газа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Название компонента	Содержание компонентов (объемный %)					
	в исходном газе в опытах №				в отработанном газе в печи №	
	1	2	3	4	1	2
CO <sub>2</sub>	9,2	9,6	11,5	11,3	11,6	11,0
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	0,1	0,6	0,5	0,7	0,1	0,6
O <sub>2</sub>	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
CO	20,6	15,5	18,0	19,1	15,1	13,4
H <sub>2</sub>	12,1	11,7	10,9	12,7	6,7	6,7
CH <sub>4</sub>	2,7	2,8	2,8	2,6	4,3	2,6
N <sub>2</sub>	55,0	59,5	55,0	53,4	62,0	65,5

В печи № 1 было пропущено 531,6 л древесногенераторного газа (приведенного к температуре 0° С и давлению 760 мм рт. ст.), получено 417,1 л отработанного газа. Таким образом, на реакцию израсходовано 114,5 л; опыт продолжался непрерывно 5 суток, затем суточный перерыв и снова 5 суток.

Выделившиеся продукты конденсировали, охлаждали в холодильнике и собирали в первом приемнике; те, которые в газообразном состоянии проходили через холодильник, дополнительно охлаждали до -70° С во втором приемнике.

Особенность древесного генераторного газа — высокое содержание балластных: CO<sub>2</sub> около 11%; O<sub>2</sub> около 0,3%; особенно высокое содержание N<sub>2</sub>—53—59% (вследствие чего газ низко калориен). Генераторный газ получен в шахтном газогенераторе прямого процесса при воздушном дутье. Подвергшиеся газификации древесные отходы представляли собой измельченные на отрезки (длиной от 5 до 20 см) вершины, сучья, хвойную лапку, щепу.

Данные табл. 1 показывают, что в печи № 1 использование окиси углерода составило около 1/5 части от исходного количества, водорода — около 1/2; в печи № 2 — соответственно 1/4 и 1/2 части; содержание двуокиси углерода и кислорода практически осталось неизменным. Вследствие уменьшения содержания окиси углерода и водорода процентное содержание азота в отработанном газе относительно увеличилось.

Самое большое количество жидких продуктов выделилось за первые сутки. После трех суток в первом приемнике объем жидкости перестал увеличиваться при первоначальной температуре, во втором — он увеличивался и в последующие дни. На четвертые сутки температуру начали постепенно повышать, доводя ее в конце опыта до 250° С. В печи № 1 в первом приемнике к концу опыта масел и воды прибавлялось незначительное количество, во втором — выделение воды и бензина продолжалось дольше. В печи № 2 процесс шел аналогично. На четвертые сутки, наряду с жидкими углеводородами, выделилось белое парафинообразное вещество, остающееся на стенках холодильника, поэтому по мере накопления твердых углеводородов, для перевода их в приемник, периодически применяли прогрев холодильника.

Выход продуктов в первой печи (в расчете на 1 м<sup>3</sup> исходного газа, приведенного к нормальным условиям) составил: бензина 2,92 мл; масел 0,07 мл; воды 5,65 мл; парафина 1,13 мл. Всего углеводородов (бензин, масло, парафин) 4,12 мл/м<sup>3</sup> газа, в том числе жидких (бензин, масло) — 2,99 мл/м<sup>3</sup> газа.

Во второй печи за 10 суток работы было пропущено 496,1 л очищенного от сероводорода газа (приведенного к нормальным условиям).

Отработанного газа получено 384,9 л, следовательно, на реакцию израсходовано 111,2 л.

Выход продуктов в печи № 2 (в расчете на 1 м<sup>3</sup> газа) составил: бензина 1,5 мл; масел 4,27 мл; воды 17,4 мл; парафина 1,9 мл. Всего углеводородов (бензин, масло, парафин) 7,67 мл/м<sup>3</sup> газа, в том числе жидких (бензин, масло) — 5,77 мл/м<sup>3</sup> газа.

Таким образом, выход продуктов из газа очищенного от сероводорода, почти в два раза выше, что является следствием большей контракции газа. Удельный вес бензина  $d_4^{20} = 0,6497$ ; коэффициент рефракции  $n_D^{20} = 1,3818$ . Удельный вес масла  $d_4^{20} = 0,7414$ ;  $n_D^{20} = 1,4186$ . Выход жидких углеводородов в расчете на 1 м<sup>3</sup> газифицированной древесины составляет 2—4 кг.

### Выводы

1. Показана возможность синтеза углеводородов (с кобальт-ториевым катализатором) на основе окиси углерода и водорода натурального генераторного газа, полученного газификацией древесных отходов.

2. Выход продуктов выше из газа предварительно очищенного от сернистых соединений.

3. Углеводороды получали трех видов: жидкие — бензин и масло и твердые — парафин. Отработанный после синтеза газ может быть использован для сжигания в газовой топке.

### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Комплексное использование отходов древесины. Материалы ВДНХ СССР. Гослесбумиздат, 1961. [2]. И. Б. Рапопорт. Искусственное жидкое топливо. Госоптехиздат, 1950. [3]. Я. Т. Эйдус, Б. Д. Казанский, Н. Д. Зелинский. Известия АН СССР, ОХН № 1, 27, 1941. [4]. K. Focht. Schweizerisch, Holz-Zeitung, № 27, 527, 1936.

Поступила в редакцию  
3 мая 1963 г.

## О БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СМОЛОПРОДУКТИВНОСТИ СОСНЫ \*

**И. И. ОРЛОВ**

Кандидат сельскохозяйственных наук

(Институт биологии УФАИ СССР)

Данное нами ранее [9] понятие смолопродуктивности не вскрывает полностью сущности вопроса, поэтому в настоящей статье дано новое определение этого понятия.

Для хвойных древесных пород, в частности, сосны характерно свойство при любых ранениях дерева (подсочке) выделять смолистое вещество — живицу с одновременным образованием ее в дереве [5]. Следовательно, смолопродуктивностью можно назвать биолого-технологический процесс выделения из дерева и образования в нем живицы при подсочке. Частная же смолопродуктивность есть количество живицы, отнесенное к объемной нагрузке дерева и единице времени и умноженное на 100.

$$S = \frac{Ж}{V \cdot Д} \cdot 100,$$

где  $S$  — частная смолопродуктивность,  $Г$ ;

$Ж$  — количество живицы, выделившейся из дерева,  $Г$ ;

$V$  — объемная нагрузка дерева,  $см^3$  древесины;

$Д$  — количество дней подсочки.

Такое определение смолопродуктивности встретило возражение со стороны А. Н. Тобурдановского [12], который считает, что «в случае подсочки: 1) гладкой каррой с глубокими подновками, 2) ребристой каррой с мелкими подновками и 3) с подсочкой по лубу с пастой серной кислоты, при прочих равных условиях, за сезон будет получен равный выход на карру, однако объемная нагрузка по извлеченной из дерева древесине будет далеко не одинаковой, следовательно, и показатели смолопродуктивности дерева будут получены совершенно различными». Этот пример показывает существенную разницу между смолопродуктивностью в нашем понимании и выходом живицы; последний оказался одинаковым при разных видах карр, то есть при разных ранениях дерева (карру со смазкой луба исключаем как не характерную, так как отсутствуют ожоговые ранения), а смолопродуктивность должна быть разная, ибо различны объемы древесины, вырезанной при гладкой и ребристой каррах; при глубоких подновках смолопродуктивность будет меньше.

Таким образом, следует указать, что выход живицы отражает только одну — внешнюю — сторону подсочки без учета факторов времени и ранения дерева в радиальном направлении, существенно отражающегося на водном режиме дерева.

\* Печатается в порядке обсуждения.

Однако такие показатели, как выход живицы на карру, карро-подновку и  $1 \text{ см}^2$  карры можно использовать как синоним смолопродуктивности в тех случаях, когда подсочку леса производили с применением нежевых ранений дерева, одинаковых по своим размерам (глубина, ширина и высота), то есть при одной и той же нагрузке и в одинаковое время.

Со временем наш метод количественного определения смолопродуктивности на объемную единицу ранения дерева будет усовершенствован и не исключена возможность, что последуют уточнения самой единицы ранения. В этой связи представляет интерес специфический характер ранения при новоуральском способе подсочки (2—3 мм по глубине в радиальном направлении). Смолопродуктивность, как и выход живицы, при этом значительно выше, чем при других способах подсочки (нисходящий и восходящий, глубина подновки 7—8 мм). Возможно, это связано с ассимиляционным аппаратом сосны, обычно существующим на побегах два—три года и обслуживающим органическими веществами (в первую очередь) последние два—три годичных слоя древесины, в силу чего их принято считать наиболее активными при подсочке дерева. Подновка же глубиной 7—8 мм затрагивает 6—8 годичных слоев, из которых 4—5, по существу, не имеют решающего значения для смолы выделения, но их ранение отрицательно отражается на водном режиме дерева и обуславливает меньшую смолопродуктивность. Последующие исследования смолопродуктивности (с целью выявления более точного метода ее количественного определения) должны учитывать особенности вышеназванных годичных слоев дерева.

По предложенному нами методу определяют *технологическую* (производственно-хозяйственную) смолопродуктивность, при которой не учитывают возраст дерева и объем древесной массы.

Если технологическую смолопродуктивность разделить на объем ствола среднего дерева, то получим величину, названную нами *объемной* смолопродуктивностью; вычисляют ее по формуле

$$S^0 = \frac{S^T}{O},$$

где  $S^0$  — объемная смолопродуктивность;  
 $S^T$  — технологическая смолопродуктивность;  
 $O$  — объем ствола дерева,  $\text{м}^3$ .

Исследования Мюнха и А. Н. Шатерниковой [5], [3] показали, что при подсочке в выделении живицы из дерева, в той или иной степени, участвуют смоляные ходы заболони всего ствола.

Значение объемной смолопродуктивности заключается в том, что она позволяет более точно оценивать продуктивность отдельных деревьев, их групп в разновозрастных древостоях, а также разновозрастных насаждений, различающихся по запасу древесины. Если технологическую смолопродуктивность отнесем к возрасту среднего дерева или насаждения в целом, будем иметь *возрастную* смолопродуктивность

$$S^w = \frac{S^T}{w},$$

где  $S^w$  — возрастная смолопродуктивность;  
 $S^T$  — технологическая смолопродуктивность;  
 $w$  — возраст среднего дерева (насаждения).

Возрастная смолопродуктивность характеризует продуктивность подсачиваемых древостоев, имеющих одинаковую объемную массу, но различающихся по возрасту.

Для двух разных видов сосны: обыкновенной, произрастающей в горно-таежной зоне Южного Урала, и приморской, района французских Ланд — технологическая смолопродуктивность почти одинакова [9], а возрастная различна, что видно из следующих вычислений:

для сосны обыкновенной

$$S^w = \frac{S^t}{w} = \frac{3,18}{80} = 0,039;$$

для сосны приморской

$$S^w = \frac{S^t}{w} = \frac{3,30}{50} = 0,064.$$

Такое сравнительное определение смолопродуктивности двух названных видов сосны вносит существенную поправку к оценке их как смолоносов, данной нами ранее [9]. Следовательно, возраст как биологический фактор необходимо учитывать при характеристике разных видов сосны, а также одного вида, но разных возрастов.

Если объемную смолопродуктивность разделим на возраст среднего дерева или древостоя в целом, то получим новую величину, которую мы назвали *биологической* смолопродуктивностью

$$S^b = \frac{S^o}{w},$$

где  $S^b$  — биологическая смолопродуктивность;

$S^o$  — объемная смолопродуктивность;

$w$  — возраст среднего дерева (древостоя).

Основное назначение ее — более полно и объективно характеризовать подсачиваемое насаждение, его отдельные деревья с учетом не только элементов техники и технологии подсочки, но и биолого-лесоводственных показателей — возраста и запаса древесной массы дерева и древостоя.

К. М. Озолин, Н. А. Устинов [8] и другие исследователи подсочки ([1], [5], [6], [10]) пришли к выводу, что чем старше насаждение, тем выше смолопродуктивность,

Однако биологическая смолопродуктивность указывает на обратную зависимость: чем моложе древостой, тем он более смолопродуктивен и наоборот (табл. 1 и рис. 1). Это явление объясняется более активной физиологической деятельностью молодых древостоев, выражающейся максимальным приростом древесины; процессы старения — образования спелой ядровой древесины — слабо выражены. Об этом говорил еще В. Е. Тищенко [11].

Таблица 1

Выход живицы, технологическая и биологическая смолопродуктивность в зависимости от возраста соснового насаждения

Возраст, лет	Размеры среднего дерева		Нагрузка среднего дерева		Выход живицы (Г) на			Смолопродуктивность, Г	
	диаметр на высоте груди, см	объем, м <sup>3</sup>	линейная, см	объемная, см <sup>3</sup>	карроподновку	1 см диаметра дерева	среднее дерево	технологическая	биологическая
40	22	0,214	14	190	7,8	0,35	261	1,42	1,65
50	24	0,367	14	219	8,0	0,33	327	1,54	0,83
70	27	0,694	13	207	9,5	0,35	337	1,69	0,34
80	31	0,865	12	205	10,2	0,33	367	1,86	0,27
90	36	1,029	13	257	12,6	0,35	575	2,33	0,25

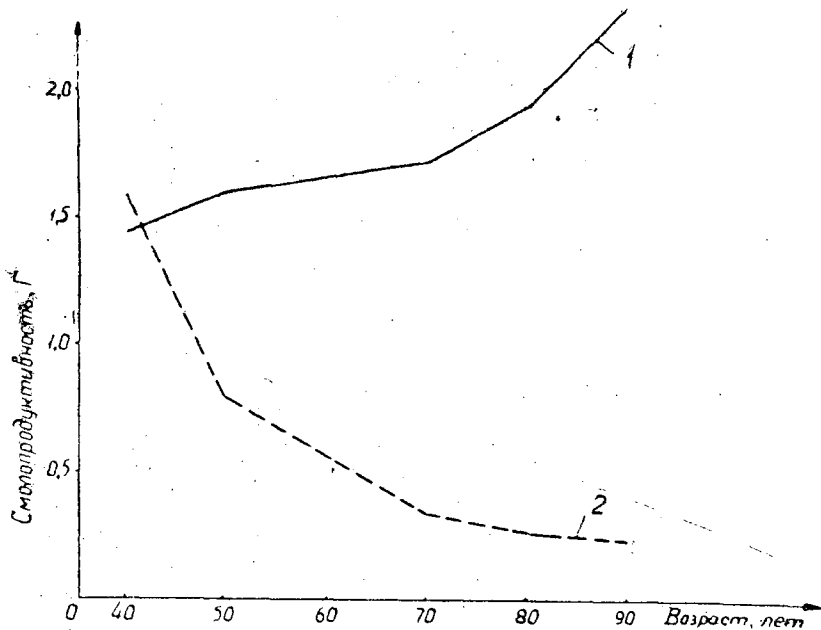


Рис. 1. Зависимость смолопродуктивности от возраста.

1 — технологическая смолопродуктивность; 2 — биологическая смолопродуктивность.

В своей ранней работе Л. А. Иванов [4] указывает: «Молодое дерево должно бы реагировать на ранение более высокими выходами (живицы — И. О.)». В. И. Лебедев [7], рассматривая вопрос о выходах живицы, отмечает: «Если принять во внимание кубатуру дерева, то оказывается, что молодые деревья на один кубический метр древесины дают терпентина больше, чем старые».

Таким образом, вышеприведенные данные меняют представления о влиянии возраста насаждений на их смолопродуктивность и указывают на то, что в интересах рационального использования сосновых лесов целесообразно специальными мерами ухода формировать сосновые насаждения с высоким диаметром среднего дерева в сравнительно молодом возрасте. В этой связи надо приветствовать исследования Б. И. Гаврилова по выращиванию сосновых лесов методом «быстрого прироста» [2].

Данные табл. 1 позволяют также отметить, что при стабильной линейной нагрузке деревьев разных возрастов — объемная имеет различные величины. Что касается показателя выхода живицы на 1 см диаметра дерева (коэффициент смолопродуктивности), то он не может служить более или менее надежным показателем смолопродуктивности деревьев, вопреки утверждениям некоторых исследователей [3], [10].

Итак, мы рассмотрели четыре вида смолопродуктивности: технологическую, возрастную, объемную и биологическую, на примерах показали их значение для теории и практики подсочки. Вместе с тем рассмотрели и вопрос о новом определении понятия общей смолопродуктивности. Полагаем, что эти вопросы должны привлечь внимание исследователей и практиков подсочки, от которых автор ждет критических замечаний с тем, чтобы общими усилиями разработать теоретические основы смолопродуктивности сосновых лесов и способов ее повышения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Б. И. Гаврилов. Длительная подсочка сосны в СССР. Гослесбумиздат, М.-Л., 1953. [2]. Б. И. Гаврилов. Выращивание сосновых насаждений по методу быстрого прироста. Записки Харьковского сельскохозяйственного института, т. XVI, 1957. [3]. А. В. Гордеев. Создание высокосмолопродуктивных сырьевых баз при облесении песков степной зоны. АН СССР. Географический сборник № 5, М.-Л., 1955. [4]. Л. А. Иванов. Научные основы техники подсочки сосны. Труды по лесному опытному делу Ленинградского НИИЛХ, вып. 1, Л., 1930. [5]. Л. А. Иванов. Биологические основы добывания терпентина в СССР, Гослесбумиздат, М., 1961. [6]. Ф. Т. Касцюкович, В. П. Сініцкі. Техніка і ефектунасць мэтавай падсочнай гаспадаркі. Лесахімічны зборнік Акадэмія Навук БССР, Менск, 1936. [7]. В. И. Лебедев. Подсочка хвойных и подсочные хозяйства. Архангельск, 1933. [8]. К. М. Озолин, Н. А. Устинов. Опыты подсочки сосны в различных районах СССР и различными способами. Труды Центрального научно-исследовательского лесохимического института, вып. IV, Гослестехиздат, М., 1934. [9]. И. И. Орлов. Смолопродуктивность и методы ее определения. Журн. «Гидролизная и лесохимическая промышленность» № 3, 1959. [10]. Ф. И. Терехов, А. К. Толкачев, И. В. Высоцкий. Классификация сосновых насаждений, используемых краткосрочной подсочкой по их смоловыделительной способности. Сборник трудов ЦНИИЛХ «Подсочка сосны и ели», Гослесонздат, Л., 1940. [11]. В. Е. Тищенко. Канифоль и скипидар. СПб., 1895. [12]. А. Н. Тобурдановский. Учет выхода живицы при опытной подсочке сосны. Тезисы доклада на Всесоюзном научно-методическом совещании. Стеклографическое издание ЦНИЛХИ, Горький, 1961. [13]. А. Н. Шатерникова. Зависимость выходов живицы у сосны от строения древесины и влияние подсочки на прирост и число смоляных ходов. Сборник трудов ЦНИИЛХ «Новое в подсочке», вып. 4, Л., 1936.

Поступила в редакцию  
24 ноября 1962 г.



## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗАГОТОВОК  
В РЕЙСМУСОВОМ СТАНКЕ

А. Э. ГРУБЕ

Профессор, доктор технических наук

В. И. САНЕВ

Кандидат технических наук

(Ленинградская лесотехническая академия)

Большинство современных методов расчета механизмов подачи станков с вальцовыми органами базируют на учете статических схем действия сил сопротивления движению обрабатываемых заготовок. Ввиду этого, многие из них не полностью обеспечивают изучение природы явлений, сопутствующих подаче заготовок в станках. Этот процесс часто рассматривают как установившийся, то есть совершающийся при постоянной скорости перемещения заготовок в направлении подачи. Однако фактические условия обработки заготовок вращающимися резцами определяют непостоянство во времени сил, действующих на них в момент обработки. В силу этого обстоятельства заготовки в направлении подачи перемещаются, как правило, с переменной скоростью, и весь этот процесс носит неустановившийся характер. В зависимости от соотношения активных и реактивных сил в системе движение заготовок может иметь различные вариации. Основная сила, создающая условия неравномерности перемещения, — сила действия резца на заготовку при ее обработке. Она является периодической во времени, возрастает от нулевого до максимального значения в момент действия и полностью исчезает в период холостого хода ножевого вала. При больших скоростях подачи и при высоких технологических требованиях к качеству и точности обработки приходится, однако, считать не только с абсолютным значением силы действия резца на древесину, но и с характером действия во времени. Эта сила — одна из существенных возбудителей продольных и поперечных колебаний заготовки в момент обработки; поэтому изучение ее влияния на движение заготовки представляет большой теоретический и практический интерес.

Точный расчет динамики движения заготовки в станках с учетом импульсного действия силы резания представляет значительные трудности. Они связаны с отсутствием достаточных теоретических и экспериментальных исследований в области динамики деревообрабатывающих станков.

Экспериментирование в этой области осложнено ввиду высокой частоты действия периодических сил при резании древесины, затрудняющей создание надежной записывающей аппаратуры. Тем не менее раз-

работки в области динамики станков весьма необходимы с целью создания объективной научной основы для проектирования оборудования.

Для того чтобы рассчитать какой-либо деревообрабатывающий станок, состоящий из комплекса механизмов различной сложности, современными теоретическими методами, необходимо составить уравнения движения всех его подвижных частей. Общее количество уравнений движения в таком случае будет равно числу степеней свободы станка. Если между приводным двигателем и рабочим органом станка будет жесткая передача, то имеет место одна степень свободы. Если считать элементы, соединяющие отдельные части привода, эластичными, то число степеней свободы будет равно их числу, ибо каждый элемент может в известных пределах двигаться независимо от других. Решая такие уравнения совместно, можно найти пути, скорости, ускорения для всех элементов станка, а также и усилия, действующие в нем при работе. Однако современные деревообрабатывающие станки с большими скоростями обработки в целом ряде случаев настолько сложны в расчетной схеме, что составить для них систему дифференциальных уравнений и проинтегрировать их практически не представляется возможным. В таких случаях необходимо искать более простые способы расчета, один из которых — метод преобразования механизмов. Он состоит в замене действительного рассчитываемого механизма упрощенным, эквивалентным ему. Последний должен быть выбран так, чтобы его детали перемещались с теми же скоростями, что и рассчитываемые детали исходного механизма, и чтобы в системе возникали те же усилия; кинетическая и потенциальная энергии частей нового механизма должны быть равны энергиям старого. Исходя из отмеченных общих предпосылок, в данной работе сделана попытка изучить (в первом приближении к действительности) характер движения заготовок в рейсмусовом станке с учетом действия в системе периодических сил. Рейсмусовый станок выбран как характерный и имеющий чисто вальцовый механизм подачи. Естественно, что результаты исследования динамики движения заготовок в рейсмусовых станках могут быть использованы и при анализе ряда других деревообрабатывающих станков.

#### *Динамическое исследование движения заготовок на основе анализа эквивалентной схемы*

Кинематическая схема рейсмусового станка приведена на рис. 1, расчетная после приведения движущихся масс — на рис. 2. На этой схеме обозначены

- $m_1$  — приведенная к наружной поверхности вальца масса элементов механизма подачи;
- $m_2$  — масса заготовки;
- $u_1$  — окружная скорость вращения вальцов;
- $u_2$  — скорость движения заготовки в станке;
- $T$  — суммарная тяговая сила органов подачи станка;
- $P_1$  — постоянно действующая сила сопротивления подаче заготовки;
- $P_2$  — переменная составляющая силы сопротивления подаче заготовки;
- $S_1$  — перемещение массы  $m_1$ ;
- $S_2$  — перемещение массы  $m_2$ ;
- $C_{12}$  — жесткость контакта валиков с заготовкой в направлении подачи.

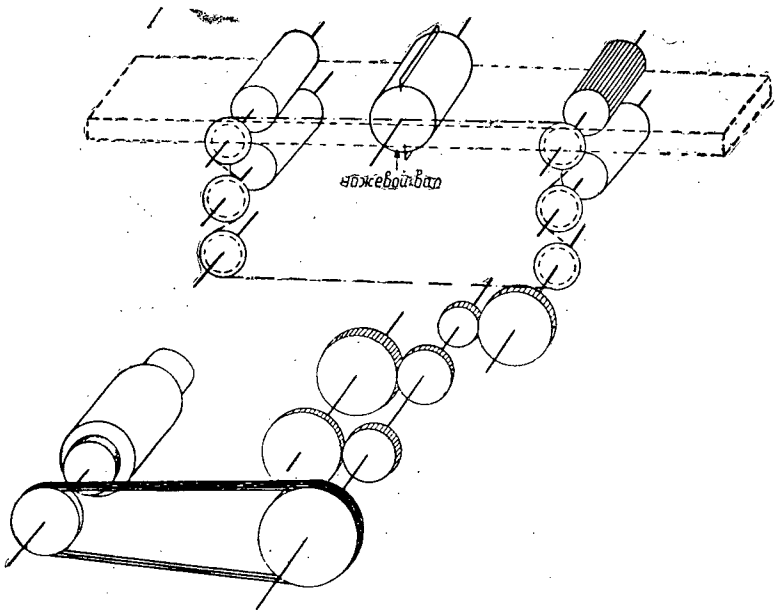


Рис. 1. Кинематическая схема рейсмусового станка.

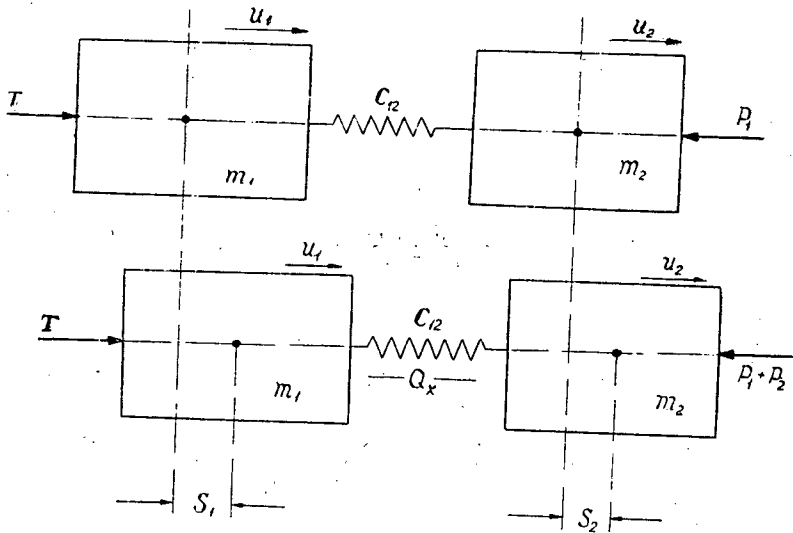


Рис. 2. Расчетная схема рейсмусового станка.

В процессе анализа характера движения заготовки в станке определим

- 1) потерю скорости подачи заготовки в станке в условиях действия статических и динамических сил;
- 2) максимальную силу сопротивления движению заготовки в процессе обработки в станке.

Воспользуемся уравнением Лагранжа в форме

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial E}{\partial S'} + \frac{\partial \Pi}{\partial S} = \Sigma P, \quad (1)$$

где  $E$  — кинетическая энергия массы;  
 $\Pi$  — потенциальная энергия массы;

Подставив полученные выражения для  $S_1$  и  $S''_1$  в уравнение движения (2), имеем

$$m_1 \cdot \frac{m_2}{C_{12}} \cdot S_2'''' + S_2'' + \frac{P_x''}{C_{12}} + m_2 \cdot S_2'' + P_x = T.$$

После преобразований это уравнение имеет вид

$$S_2'''' + \frac{C_{12} \cdot S_2'' \cdot m_1}{m_1 \cdot m_2} + \frac{P_x'' \cdot m_1}{m_1 \cdot m_2} + \frac{C_{12} \cdot S_2'' \cdot m_2}{m_1 \cdot m_2} + \frac{C_{12} \cdot P_x}{m_1 \cdot m_2} = \frac{C_{12} \cdot T}{m_1 \cdot m_2};$$

$$S_2'''' + \frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2} \cdot S_2'' = \frac{C_{12}(T - P_x)}{m_1 \cdot m_2} - \frac{P_x''}{m_2}. \quad (4)$$

Это уравнение можно переписать в виде

$$S_2'''' + k^2 S_2'' = \frac{C_{12}}{m_1 \cdot m_2} (T - P_x) - \frac{P_x''}{m_2}, \quad (5)$$

где  $k^2$  — частота собственных колебаний двухмассовой системы  $m_1$ ;  $m_2$  с контактной жесткостью  $C_{12}$ .

В системе подачи заготовки в рейсмусовом станке при обработке действуют тяговая сила органов подачи  $T$  и силы сопротивления подачи  $\Sigma P$ . При действии резца на заготовку при резании может наступить момент, когда сумма сил сопротивления больше, чем сумма активных тяговых сил механизма подачи. В этом случае заготовка будет останавливаться и ее движение в процессе обработки будет иметь скачкообразный характер.

Таким образом, можно записать, что

$$T - P_x = -P_c. \quad (6)$$

После приложения этой силы к заготовке скорость ее движения начнет уменьшаться. В зависимости от баланса кинетической энергии в системе эта скорость может либо падать до нуля, либо снижаться на какую-то переменную величину, зависящую от физических свойств системы подачи.

С учетом такого замечания общее решение дифференциального уравнения (5) можно представить в таком виде:

$$S_2 = A_1 \cdot t + A_2 + A_3 \cdot \cos kt + A_4 \cdot \sin kt + \psi(t), \quad (7)$$

где  $\psi(t)$  — частное решение дифференциального уравнения (5) с учетом значения последнего члена правой части.

Оно зависит от состава функции  $P_x = f(t)$ . В первом приближении силу  $P_x$  можно считать постоянной и изменением ее при резании можно пока пренебречь. В этом случае получим преобразование уравнения (5) с учетом соотношения (6) в форме

$$S_2'''' + k^2 \cdot S_2'' = -\frac{P_c \cdot C_{12}}{m_1 \cdot m_2} \quad (\text{при } P_x = \text{пост}).$$

Частное решение такого уравнения получено В. Я. Филькевичем\* и имеет следующий вид:

$$\psi(t) = -\frac{P_c \cdot t^2}{2(m_1 + m_2)}.$$

\* В. Я. Филькевич. Некоторые вопросы теории непрерывных подач в лесопильных рамах. Л., 1961.

Подставляя его в общее решение дифференциального уравнения (7), получим

$$S_2 = A_1 \cdot t + A_2 + A_3 \cos kt + A_4 \sin kt - \frac{P_c \cdot t^2}{2(m_1 + m_2)}. \quad (8)$$

Входящие сюда величины  $A_i$  — постоянные интегрирования дифференциального уравнения четвертой степени (5) и могут быть определены из начальных условий.

При движении резца на дуге резания заготовка движется условно с некоторой постоянной средней скоростью установившегося движения всей системы подачи, поэтому за начальный момент, соответствующий начальным условиям для определения постоянных  $A_i$ , можно принять начало торможения заготовки, после которого начнется неравномерное движение системы. Для такого момента имеем следующие начальные условия.

При  $t=0$ ,  $S_2=0$ ;  $S'_2=u_2=\text{пост.}$ ,  $S''_2=0$ , и  $S'''=0$ .

Для определения постоянных  $A_i$  продифференцируем три раза выражение (8)

$$S'_2 = A_1 - A_3 \cdot k \cdot \sin kt + A_4 \cdot k \cdot \cos kt - \frac{P_c \cdot t}{(m_1 + m_2)}; \quad (8, a)$$

$$S''_2 = -A_3 \cdot k^2 \cdot \cos kt - A_4 \cdot k^2 \cdot \sin kt - \frac{P_c}{(m_1 + m_2)}; \quad (8, б)$$

$$S'''_2 = A_3 k^3 \sin kt - A_4 \cdot k^3 \cdot \cos kt. \quad (8, в)$$

Подставляя последовательно в данные уравнения начальные условия, получим

$$0 = A_2 + A_3 \quad (\text{соответствует } 8)$$

$$u_2 = A_1 + A_4 \cdot k \quad (\text{ } \gg \text{ } 8a)$$

$$0 = -A_3 \cdot k^2 - \frac{P_c}{m_1 + m_2} \quad (\text{ } \gg \text{ } 8б)$$

$$0 = -A_4 \cdot k^3 \quad (\text{ } \gg \text{ } 8в)$$

Отсюда имеем следующие значения постоянных  $A_i$ , входящих в выражение (8)

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= u_2; \\ A_2 &= \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)}; \\ A_3 &= -\frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)}; \\ A_4 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

После подстановки этих постоянных интегрирования из выражений (9) в общее решение (8) получим

$$S_2 = u_2 t + \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} - \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} \cos kt - \frac{P_c \cdot t^2}{2(m_1 + m_2)}.$$

После преобразования этого выражения получим уравнение следующего вида (для периода  $t < t_0$ ):

$$S_2 = u_2 \cdot t + \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} \cdot \left(1 - \cos kt - \frac{k^2 t^2}{2}\right). \quad (10)$$

По такому закону изменяется движение заготовки в период торможения горизонтальной составляющей силы действия реза на древесину при резании. Первый член выражения (10) представляет теоретический путь движения заготовки, а второй — относительный путь ее движения относительно валцов при подаче. Анализируя движение реза по дуге резания, можно отметить, что он действует на заготовку в период времени, равный  $t_0$  (рис. 3,а).

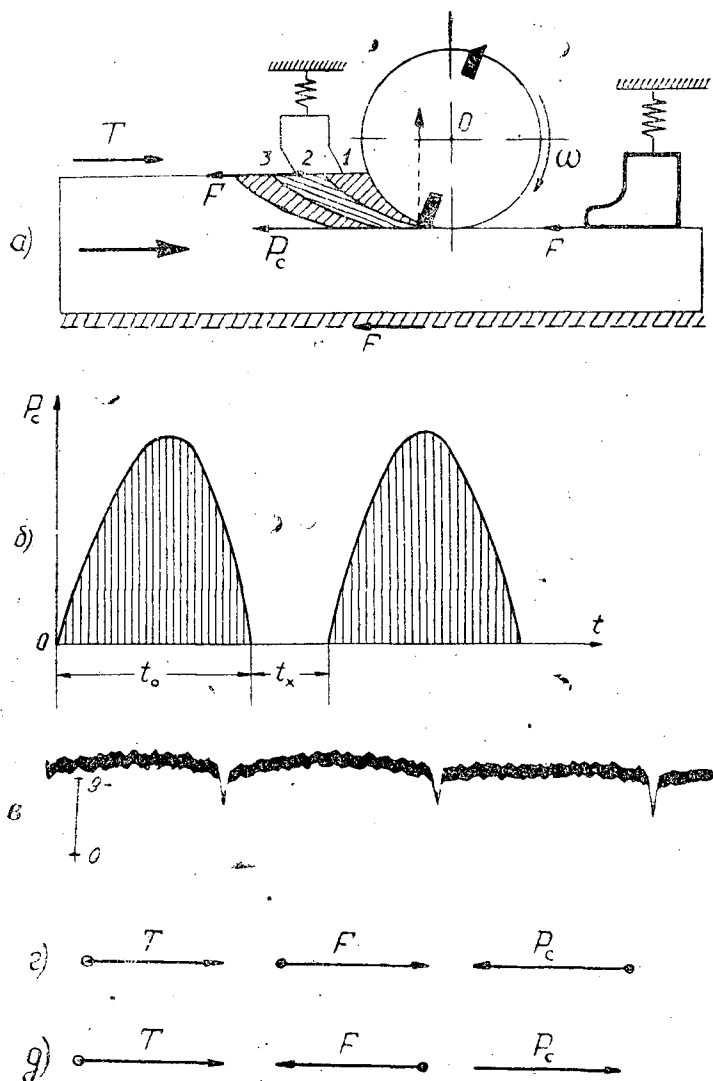


Рис. 3. Распределение сил в системе станка в зависимости от положения реза на дуге контакта с древесиной.

а — схема движения реза по дуге резания; б — график изменения горизонтальной силы действия реза на древесину во времени; в — осциллограмма изменения горизонтальной силы; г — группировка сил в период действия реза на древесину; д — группировка сил в период выхода реза из древесины.

Отношение времени действия реза на заготовку ко времени холостого хода

$$\lambda = \frac{t_0}{t_x}$$

представляет для реальных рейсмусовых станков сравнительно малую величину. В силу этого положения после выхода реза из древесины в конце дуги резания (при наличии отщепа этот момент наступает несколько раньше) заготовку освобождают от приложенной нагрузки сопротивления  $P_c$  (рис. 3, б, в). Это равносильно внезапному приложению к заготовке силы, обратной по знаку  $P_c$ , и приводит к перегруппировке сил трения на граничных поверхностях заготовки, а именно: по столу, по прижимам и другим площадкам касания. В момент действия реза на заготовку эти силы стремятся удержать ее от относительного сдвигания в сторону против подачи и в этом смысле выступают как бы «активной» добавкой к тяговой силе механизма подачи. В момент же снятия действия реза — силы трения на граничных поверхностях изменяют свой знак и начинают снижать эффект тяговых сил механизма подачи (рис. 3, г, д). Из этой схемы видно, что в период действия реза на древесину  $T + F = P_c$  и в момент резания наступает равновесие сил в системе подачи, а при  $T + F < P_c$  заготовка может смещаться в сторону, противоположную подаче.

Соответственно в момент выхода реза из древесины  $T + P_c = F$  наступает равновесие сил в системе подачи, а при  $T + P_c < F$  возможна кратковременная остановка подачи заготовки.

Прерывный характер действия силы  $P_c$  реза на древесину значительно влияет на характер смещения заготовки относительно органов подачи. В случае непрерывного действия силы  $P_c$  смещение заготовки относительно подающего вальца описывается вторым членом уравнения (10)

$$S_{\text{отн}(1)} = \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} \cdot \left(1 - \cos kt - \frac{k^2 t^2}{2}\right). \quad (11)$$

Баланс сил, действующих в системе в этот момент, может иметь две формы:  $T - F - P_c > 0$  — наличие подачи;  $T + F - P_c < 0$  — отбой заготовки. После выхода реза из древесины (при  $t > t_0$ ) сила  $P_c$  исчезает и будет действовать сила  $-P_c$ . В силу этого обстоятельства смещение заготовки относительно подающего вальца будет подчиняться выражению

$$S_{\text{отн}(2)} = -\frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} \left[1 - \cos k(t - t_0) - \frac{k^2(t - t_0)^2}{2}\right]. \quad (12)$$

Складывая выражения (11) и (12), получим суммарное относительное движение заготовки в виде

$$S_{\text{отн}(0)} = \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} \left[ \cos k(t - t_0) - \cos kt - k^2 t_0 \left(t - \frac{1}{2} t_0\right) \right]. \quad (13)$$

С учетом выражения (10) имеем

$$S_2 = u_2 t - S_{\text{отн}(0)}.$$

Подставив сюда значение  $S_{\text{отн}(0)}$  из (13), получим

$$S_2 = u_2 \cdot t - \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} \left[ \cos k(t - t_0) - \cos kt - k^2 t_0 \left(t - \frac{1}{2} t_0\right) \right]. \quad (14)$$

Преобразуем выражение с учетом формулы теоремы сложения косинусов:

$$\cos k(t - t_0) - \cos kt = 2 \sin \frac{k}{2} (2t - t_0) \sin \frac{k}{2} \cdot t_0.$$

Уравнение (13) при этом будет иметь вид

$$S_{\text{отн}(0)} = - \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} \left[ k^2 \cdot t_0 (t - 0,5t_0) - 2 \sin \frac{kt_0}{2} \cdot \sin k(t - 0,5t_0) \right].$$

С учетом этого выражения формула для определения перемещения заготовки (10) принимает следующий вид (для периода  $t > t_0$ ):

$$S_2 = u_2 t - \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} \left[ k^2 \cdot t_0 (t - 0,5t_0) - 2 \sin \frac{kt_0}{2} \cdot \sin k(t - 0,5t_0) \right]. \quad (15)$$

Из уравнения (15) видно, что перемещение — довольно сложная функция и зависит от масс элементов привода подачи и заготовки, от частоты собственных колебаний системы подачи, от времени действия возмущающей силы  $P_c$  и ее величины. Эта зависимость для определения величины  $S_2$  почти аналогична полученной В. Я. Филькевичем при анализе движения бревна в лесопильной раме. Такое сходство можно объяснить некоторой общностью явлений, сопровождающих подачу заготовок в деревообрабатывающих станках с вальцовыми органами.

Таким образом, перемещение заготовки в период действия силы  $P_c$  выражается уравнением (10')

$$S_{2(\tau)} = u_2 t + \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} \left( 1 - \cos kt - \frac{k^2 t^2}{2} \right), \quad (10')$$

а после действия силы  $P_c$  уравнением (15')

$$S_{2(n)} = u_2 t - \frac{P_c}{k^2(m_1 + m_2)} \left[ k^2 \cdot t_0 (t - 0,5t_0) - 2 \sin \frac{kt_0}{2} \cdot \sin k(t - 0,5t_0) \right]. \quad (15')$$

На основе данных зависимостей можно получить формулы для определения скоростей  $v$  и ускорений  $a$  перемещения заготовки как в период торможения силой  $P_c$ , так и после действия ее.

При  $t < t_0$

$$v_{2(\tau)} = \dot{S}_{2(\tau)} = u_2 - \frac{P_c}{k(m_1 + m_2)} (kt - \sin kt); \quad (16)$$

$$a_{2(\tau)} = \ddot{S}_{2(\tau)} = - \frac{P_c}{(m_1 + m_2)} (1 - \cos kt). \quad (17)$$

При  $t > t_0$

$$v_{2(n)} = \dot{S}_{2(n)} = u_2 - \frac{P_c}{k(m_1 + m_2)} \left[ kt_0 - 2 \sin \frac{kt_0}{2} \cdot \cos k(t - 0,5t_0) \right]; \quad (18)$$

$$a_{2(n)} = \ddot{S}_{2(n)} = - \frac{P_c}{(m_1 + m_2)} \cdot 2 \sin \frac{kt_0}{2} \cdot 2 \sin k \left( t - \frac{t_0}{2} \right). \quad (19)$$

Уравнения (10', 15', 16—19) дают полное представление о характере перемещения заготовки внутри рейсмусового станка. Анализируя выражения (10' и 15'), можно отметить, что величина  $u_2 t$  по существу яв-



ляется теоретическим путем движения заготовки. Второй член уравнения (10') представляет относительный путь ее движения; второй член выражения (15') — потерю подачи заготовки в границах неустановившегося движения.

Для выяснения вопроса об определении максимальной силы сопротивления движению заготовки в процессе обработки в станке воспользуемся дифференциальными уравнениями движения (2, 3). Чтобы получить общее уравнение движения, умножим уравнение (2) на  $m_2$ , а (3) — на  $m_1$

$$m_1 \cdot m_2 \frac{d^2 S_1}{dt^2} + m_2 C_{12} (S_1 - S_2) = m_2 T; \quad (20)$$

$$m_2 \cdot m_1 \cdot \frac{d^2 S_2}{dt^2} + m_1 C_{12} (S_2 - S_1) = -m_1 \cdot P_x. \quad (21)$$

При вычитании выражения (21) из (20) имеем

$$m_1 \cdot m_2 \left( \frac{d^2 S_1}{dt^2} - \frac{d^2 S_2}{dt^2} \right) + C_{12} (m_2 + m_1) (S_1 - S_2) = m_2 T + m_1 P_x.$$

Далее обозначим разность перемещений

$$S_1 - S_2 = S.$$

Тогда получим следующее дифференциальное уравнение движения масс

$$\frac{d^2 S}{dt^2} + \frac{C_{12} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2} \cdot S = \frac{T}{m_1} + \frac{P_x}{m_2}. \quad (22)$$

Обозначим коэффициент при  $S$  через

$$k^2 = \frac{C_{12} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}.$$

Формула (22) приобретет вид

$$\frac{d^2 S}{dt^2} + k^2 S = \frac{T}{m_1} + \frac{P_x}{m_2}. \quad (23)$$

Решение этого дифференциального уравнения представим в виде суммы решений однородного и неоднородного уравнений

$$S_0 = \bar{S}_1 + \bar{S}_2.$$

Однородное уравнение имеет вид

$$\frac{d^2 S}{dt^2} + k^2 S = 0.$$

Общее решение его имеет следующую форму:

$$\bar{S}_1 = A_1 \cdot \cos kt + A_2 \cdot \sin kt,$$

где  $A_1, A_2$  — постоянные интегрирования.

Частное решение уравнения (23) можно представить в виде

$$S = A_1 \cdot \cos kt + A_2 \sin kt + \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{C_{12} (m_1 + m_2)}. \quad (24)$$

Подставив значение  $k$  в это выражение, получим

$$S = A_1 \cos \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t + A_2 \cdot \sin \cdot \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t + \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{C_{12}(m_1 + m_2)}. \quad (25)$$

Значения постоянных в выражении (25) определяем с учетом начальных условий. За начальный момент примем момент выхода резца из древесины, характеризующийся следующими условиями: при  $t=0$ ,  $S=0$  и  $\dot{S}=u_1 - u_2$ .

Первое начальное условие позволяет определить постоянную  $A_1$

$$0 = A_1 + \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{C_{12}(m_1 + m_2)}.$$

Отсюда постоянная интегрирования

$$A_1 = - \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{C_{12}(m_1 + m_2)}.$$

Первая производная  $\dot{S}$  уравнения (25) имеет вид

$$\dot{S} = -A_1 \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot \sin \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t + A_2 \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot \cos \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t.$$

С учетом второго начального условия получим

$$u_1 - u_2 = A_2 \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}}.$$

Отсюда постоянная интегрирования

$$A_2 = (u_1 - u_2) \sqrt{\frac{m_1 \cdot m_2}{C_{12}(m_1 + m_2)}}.$$

В результате подстановки значений  $A_1$  и  $A_2$  в выражение (25) получим

$$S = (u_1 - u_2) \sqrt{\frac{m_1 \cdot m_2}{C_{12}(m_1 + m_2)}} \cdot \sin \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t + \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{C_{12}(m_1 + m_2)} \left( 1 - \cos \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t \right). \quad (26)$$

На основе этой формулы можно также определить величину относительного смещения заготовки при действии возмущающей силы в системе подачи. Выражение (26) представляет собой уравнение гармонического колебательного движения, причем величина  $S$  неизбежно проходит через максимум и минимум. Учитывая, что

$$Q_x = S \cdot C_{12},$$

выражение (26) можно привести к виду

$$Q_x = S \cdot C_{12} = (u_1 - u_2) \sqrt{\frac{C_{12} \cdot m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}} \cdot \sin \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t + \left( \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{m_1 + m_2} \right) \left( 1 - \cos \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t \right). \quad (27)$$

Отсюда по общим правилам дифференциального исчисления можно вычислить максимальную силу, действующую в области контакта валиков с заготовкой.

Взяв первую производную из выражения (27) и приравняв ее нулю, получим

$$(u_1 - u_2) \sqrt{\frac{C_{12} \cdot m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}} \cdot \sqrt{\frac{C_{12} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot \cos \sqrt{\frac{C_{12} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t + \left( \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{m_1 + m_2} \right) \cdot \sqrt{\frac{C_{12} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot \sin \sqrt{\frac{C_{12} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t = 0.$$

В результате решения этого уравнения и после подстановки его корней в выражение (27) получим

$$Q_{max} = \left[ \frac{(u_1 - u_2)^2 \cdot C_{12} \cdot m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} + \left( \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{m_1 + m_2}. \quad (28)$$

Величина  $Q_{max}$ , полученная из этого выражения с учетом указанных выше начальных условий, и есть искомая динамическая сила, возникающая в месте контакта валиков с заготовкой. Она направлена против подачи и лежит в плоскости движения заготовки. Разность  $u_1 - u_2$ , входящая в это уравнение, может быть определена из ранее полученных выражений (15, 10', 15', 16).

Однако задача по определению силы  $Q_{max}$  может быть несколько упрощена, если исходить из начальных условий

а) при  $t=0$   $S=0$ ;

б) при  $t=0$   $\dot{S}=0$ .

С учетом условия а получим из уравнения (25)

$$A_1 = - \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{C_{12} (m_1 + m_2)}.$$

Первая производная выражения (25)

$$\dot{S} = - A_1 \cdot k \cdot \sin kt + A_2 \cdot k \cdot \cos kt.$$

Отсюда с учетом условия б получим

$$A_2 = 0.$$

После подстановки значений постоянных в уравнение (25) получим

$$S = - \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{C_{12} (m_1 + m_2)} \cdot \cos kt + \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{C_{12} (m_1 + m_2)}.$$

После преобразования

$$S = \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{C_{12} (m_1 + m_2)} (1 - \cos kt).$$

После подстановки  $k$

$$S = \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{C_{12} (m_1 + m_2)} \left( 1 - \cos \sqrt{\frac{C_{12} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t \right).$$

Из уравнения видно, что любая сила  $P_x$  или ее составляющая, будет она больше или меньше тягового усилия, вызывает колебательное движение заготовки в продольном направлении. Если учесть, что  $Q'_x = C_{12} S$ , то получим

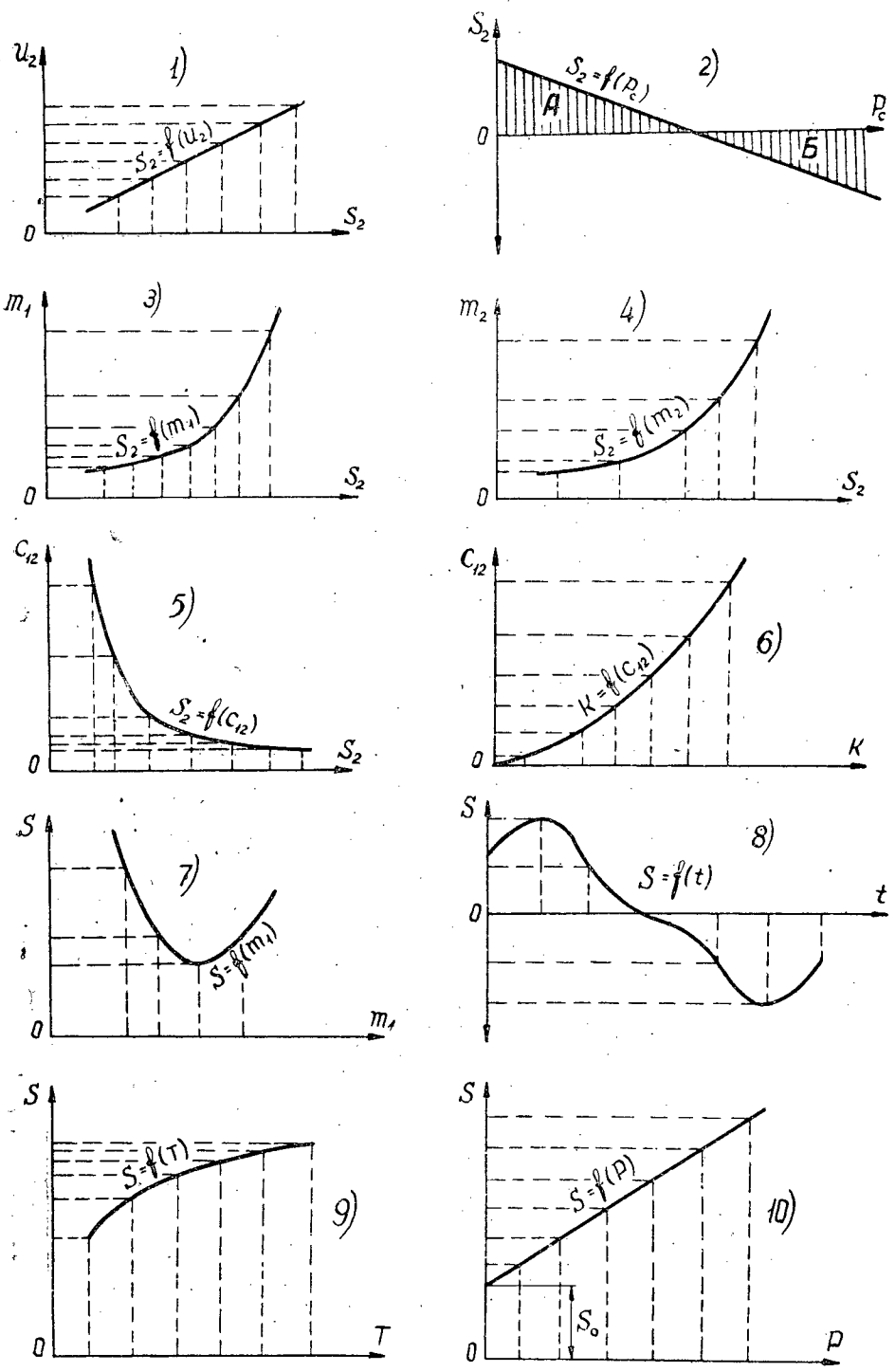


Рис. 5. Расчетные графики функций.

$$Q'_x = C_{12} \cdot S = \left( \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{m_1 + m_2} \right) \left( 1 - c_{12} \sqrt{\frac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot t \right).$$

Отсюда видно, что сила  $Q$  будет максимальной при  $\cos kt = 0$ , когда  $kt = \frac{\pi}{2}$

$$Q'_{max} = \frac{T \cdot m_2 + P_x \cdot m_1}{m_1 + m_2} \quad (29)$$

Сравнивая это выражение с ранее полученным (28), мы видим, что оно входит составляющим в общее уравнение (28). Следовательно, максимальная сила, определенная по выражению (28), может быть представлена в форме

$$Q_{max} = Q_0 + Q'_{max}.$$

График изменения этой силы во времени представлен на рис. 4.

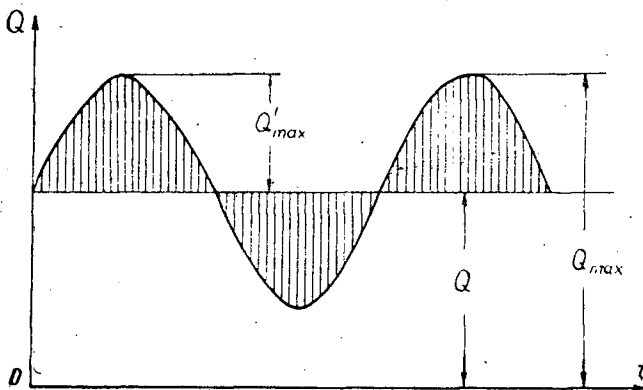


Рис. 4. График изменения контактной силы во времени.

С целью выявления характера изменения основных величин при движении заготовки внутри станка вышеприведенные функции были вычислены для различных значений входящих в формулы аргументов. Некоторые из полученных при этом графиков представлены на рис. 5.

Сравнительный анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы.

1. При воздействии периодической силы резания на заготовку последняя совершает продольное колебательное движение.
2. В определенных условиях может иметь место относительное смещение заготовки относительно поверхности подающего валика.
3. Величина смещения находится в зависимости от массы движущейся заготовки, приведенной массы механизма подачи, импульса периодической силы и жесткости связи между подающим вальцом и заготовкой.
4. Величина смещения заготовки в сторону, противоположную подаче, входит составляющей в величину общего технологического скольжения.

К ТЕОРИИ ФРИКЦИОННЫХ РАЗОБЩИТЕЛЕЙ  
ПАЧЕК КРУГЛОЙ ДРЕВЕСИНЫ \*

А. Н. ПОЛИЩУК

Ассистент

(Московский лесотехнический институт)

Одно из средств разобшения пачек круглой древесины, разгруженных с подвижного состава лесовозной дороги или выгруженных из воды, — фрикционный разобщик. Он (рис. 1) представляет собой по-

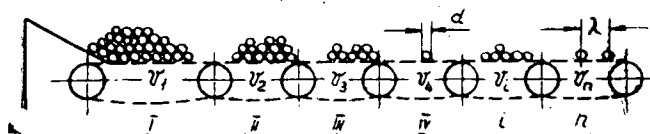


Рис. 1.

речный горизонтальный цепной транспортер, состоящий из  $n$  секций, причем каждая последующая секция по ходу движения имеет скорость, большую предыдущей, то есть

$$v_1 < v_2 < v_3 < \dots < v_n.$$

В момент перехода пачки с одной секции разобщика на другую пачка «растягивается», а на последней  $n$ -ой секции бревна располагаются поштучно в один ряд с заданным шагом  $\lambda$ .

Для теории фрикционных разобщиков существенно определение следующих величин:

а) общего передаточного числа секций разобщика

$$i_p = \frac{v_n}{v_1};$$

б) числа переходов  $m$  между секциями или числа секций  $n$  разобщика;

в) передаточного числа между последней и предпоследней секциями

$$i_n = \frac{v_n}{v_{n-1}};$$

г) длин секций  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  разобщика.

\* Работа выполнена под руководством доц., канд. техн. наук Г. А. Вильке.

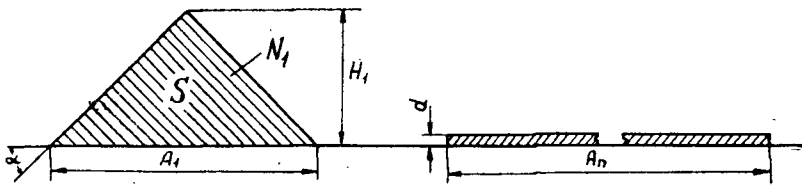


Рис. 2.

Рассмотрим наименее благоприятный случай в работе разобшителя. В этом случае разгруженная пачка круглой древесины (рис. 2) в начальный момент на первой секции разобшителя в поперечном сечении имеет вид равнобедренного треугольника с основанием  $A_1$ , высотой  $H_1$  и углом при основании  $\alpha$ , равным углу естественного откоса. В конце цикла разобшиения этой пачки бревна должны быть уложены в один ряд с заданным интервалом между бревнами  $\lambda$  и длиной ряда  $A_n$ .

Очевидно, что заданное условие разобшиения будет обеспечено при соблюдении неравенства

$$\frac{v_n}{v_1} \geq \frac{A_n}{A_1}. \quad (1)$$

Площадь поперечного сечения пачки бревен через величину основания  $A_1$  определяется из формулы

$$F = \frac{1}{4} A_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

с другой стороны, эта площадь равна

$$F = \frac{1}{4} \frac{\pi d^2 N_1}{k}, \quad (3)$$

где  $N_1$  — число бревен в пачке на первой секции;

$d$  — средний диаметр бревен;

$k$  — коэффициент полнодревесности пачки бревен.

Совместное решение выражений (2) и (3) даст величину основания поперечного сечения разгруженной пачки

$$A_1 = d \sqrt{\frac{\pi N_1}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}}. \quad (4)$$

Величина основания разобшиенной пачки древесины в один ряд с шагом  $\lambda$

$$A_n = N_1 \cdot \lambda.$$

Введем понятие коэффициента разобшиения древесины, равного отношению шага между соседними бревнами разобшиенной пачки к диаметру бревна

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{d}, \quad (5)$$

тогда

$$A_n = N_1 \cdot d \cdot \varepsilon. \quad (6)$$

Окончательное условие успешного разобшиения пачки круглой древесины (1) из выражений (4) и (6) имеет вид

$$\frac{v_n}{v_1} \geq \frac{N_1 \cdot \varepsilon}{\sqrt{\frac{\pi N_1}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}}} \quad (7)$$

Следовательно, общее передаточное число  $i_p$  разобшителя фрикционного типа не зависит от диаметра бревен, а определяется числом бревен  $N_1$  в пачке, коэффициентом разобщения  $\varepsilon$  и углом естественного откоса  $\alpha$ .

Коэффициент разобщения  $\varepsilon$  зависит от способа питания последующих станков и агрегатов автоматической линии, от четкости и ритма работы отсекаателей, буферных магазинов или сбрасывателей. Его величина может лежать в пределах  $2 \div 4$ . Угол естественного откоса  $\alpha$  пачки круглой древесины в неокоренном виде составляет около  $40^\circ$ .

Второй, не менее важный вопрос теории фрикционного разобшителя, — определение потребного количества переходов  $m$  или секций  $n$  разобшителя, обеспечивающего полную разборку пачки круглой древесины.

Для решения этого вопроса мы выдвигаем гипотезу о возможном характере разрушения пачки круглой древесины в момент ее перехода с секции  $i$  на секцию  $i + 1$ , когда  $v_i < v_{i+1}$ .

Будем считать, что в тот момент, когда пачка с количеством бревен  $N_1$ , расположенная на первой секции разобшителя, своим фронтом подойдет ко второй секции — точке перепада скорости, произойдет сползание слоя бревен с боковой поверхности пачки. На второй секции разобшителя обрушившаяся древесина снова образует пачку в виде треугольника из числа бревен  $N_2$ , равную числу бревен, находившихся в боковом слое первой пачки (рис. 3).

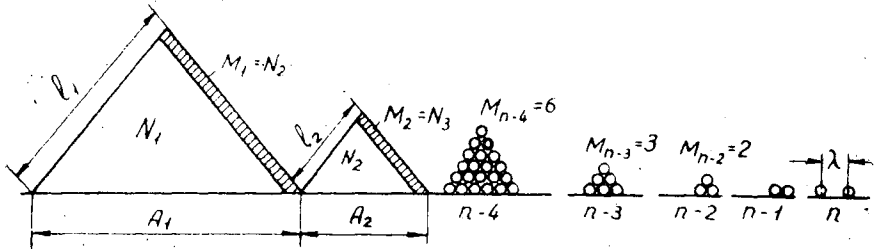


Рис. 3.

Аналогичный характер разрушения пачки имеет место и на последующих переходах до момента ее полного разобщения.

Очевидно, такой характер разрушения пачки мало вероятен, но возможен, а расчет, основанный на выдвинутой гипотезе, позволяет учесть наименее благоприятный случай разобщения.

В соответствии с выдвинутой гипотезой о характере разрушения пачки, количество бревен, находящихся в любой образовавшейся пачке, равно

$$N_i = M_{i-1}, \quad (8)$$

где  $M_{i-1}$  — количество бревен, находящихся в боковом слое предыдущей пачки.

Количество бревен  $M_1$ , находящихся в боковом слое первой пачки,

$$M_1 = \frac{l_1}{a}, \quad (9)$$

где  $l_1$  — длина боковой стороны первой пачки.



$$l_i = \frac{A_i}{2 \cos \alpha} \quad (10)$$

Подставив из формулы (4) значение  $A_i$ , получим

$$l_i = \frac{d \sqrt{\frac{\pi N_1}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}}}{2 \cos \alpha} \quad (11)$$

Тогда формула (9) примет вид

$$M_1 = N_2 = \frac{1}{2 \cos \alpha} \sqrt{\frac{\pi N_1}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}} \quad (12)$$

Для простоты преобразования введем обозначение

$$\frac{1}{2 \cos \alpha} \sqrt{\frac{\pi}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}} = \sqrt{\Phi}, \quad (13)$$

тогда количество бревен, находящихся в боковых слоях образованных пачек на II, III, IV и  $i$ -ой секциях разобшителя, соответственно равно

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \sqrt{\Phi} \cdot \sqrt{N_1}; \\ M_2 &= \sqrt{\Phi} \cdot \sqrt{N_2}; \\ M_3 &= \sqrt{\Phi} \cdot \sqrt{N_3}; \\ &\dots \dots \dots \\ M_i &= \sqrt{\Phi} \cdot \sqrt{N_i}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Так как  $N_2 = M_1$ ,  $N_3 = M_2$  и  $N_i = M_{i-1}$ , в выражениях (14) произведем замену значений  $N_2, N_3, \dots, N_i$  через  $N_1$ , тогда получим

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \sqrt{\Phi} \cdot \sqrt{N_1}; \\ M_2 &= \sqrt{\Phi} \cdot \sqrt{\sqrt{\Phi} \cdot \sqrt{N_1}}; \\ M_3 &= \sqrt{\Phi} \cdot \sqrt{\sqrt{\sqrt{\Phi} \cdot \sqrt{\sqrt{\Phi} \cdot \sqrt{N_1}}}}; \\ &\dots \dots \dots \\ M_i &= \left( \Phi^{\frac{1}{2}} \cdot \Phi^{\frac{1}{4}} \cdot \Phi^{\frac{1}{8}} \cdot \dots \cdot \Phi^{\frac{1}{2^i}} \right) \cdot N_1^{\frac{1}{2^i}}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Количество бревен, содержащихся в боковом слое пачки, расположенной на любой секции разобшителя, выразится формулой общего вида в зависимости от  $N_1$

$$M_i = N_1^{\frac{1}{2^i}} \cdot \Phi^{\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots + \frac{1}{2^i}} \quad (16)$$

Показатель степени  $\Phi$  представляет собой убывающую геометрическую прогрессию, сумма которой равна

$$S = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots + \frac{1}{2^i} = 1 - \frac{1}{2^i}, \quad (17)$$

тогда выражение (16) примет вид

$$M_i = N_1 \frac{1}{2^i} \cdot \Phi \left(1 - \frac{1}{2^i}\right) \quad (18)$$

Логарифмируя выражение (18), получим

$$\frac{1}{2^i} \lg N_1 + \left(1 - \frac{1}{2^i}\right) \lg \Phi = \lg M_i$$

или

$$2^i = \frac{\lg N_1 - \lg \Phi}{\lg M_i - \lg \Phi} \quad (19)$$

Логарифмируем еще раз выражение (19)

$$i \lg 2 = \lg \frac{\lg N_1 - \lg \Phi}{\lg M_i - \lg \Phi} \quad (20)$$

Отсюда выразим  $i$  — число секций разобчителя, которое необходимо иметь, чтобы получить на  $i$ -ой секции пачку, содержащую в своем боковом слое количество бревен, равное  $M_i$ ,

$$i = 3,32 \lg \frac{\lg N_1 - \lg \Phi}{\lg M_i - \lg \Phi} \quad (21)$$

Входящая в формулу величина  $\Phi$  из ранее приведенного выражения (13) равна

$$\Phi = \frac{\pi}{4k \cdot \cos^2 \alpha \cdot \lg \alpha} = \frac{\pi}{2k \cdot \sin 2\alpha} \quad (22)$$

Очевидно, формула (21) имеет смысл при условии

$$\lg M_i - \lg \Phi > 0$$

или

$$M_i > \Phi.$$

Но так как при реальных значениях, входящих в формулу (22) величин: коэффициента полндревесности  $k = 0,58 \div 0,75$  и угла естественного откоса  $\alpha = 40^\circ$  значение  $\Phi$  лежит в пределах  $2 < \Phi < 3$ , а количество бревен  $M_i$  может быть только целым числом, то, следовательно, в формуле (21)  $M_i \geq 3$ . Подставляя значение  $\Phi$  из формулы (22) в (21) и принимая  $M_i = 3$ , получим

$$i = 3,32 \lg \frac{\lg(0,637N_1 \cdot k \cdot \sin 2\alpha)}{\lg(1,91 \cdot k \cdot \sin 2\alpha)} \quad (23)$$

Далее, в соответствии с тем, что  $N_{i+1} = M_i$ , на секции  $i+1$  образуется пачка из трех бревен, то есть  $N_{i+1} = 3$ , а при переходе с секции  $i+1$  на секцию  $i+2$  происходит окончательное разрушение пачки из трех бревен, и они располагаются в один плотный ряд.

Для создания необходимого интервала  $\lambda$  между бревнами с целью обеспечения их четкой подачи в автоматическую линию необходимо иметь еще одну секцию  $i+3$ .

Таким образом, окончательная формула для определения числа секций  $n$  разобчителя, необходимого для полной разборки пачки из  $N_1$  бревен с заданным интервалом  $\lambda$ , имеет вид

$$n = 3,32 \lg \frac{\lg(0,637N_1 \cdot k \cdot \sin 2\alpha)}{\lg(1,91 \cdot k \cdot \sin 2\alpha)} + 3. \quad (24)$$

Следовательно, число секций фрикционного разобшителя не зависит от диаметра бревен, а определяется только количеством бревен  $N_1$  в пачке, углом естественного откоса пачки  $\alpha$  и коэффициентом полнодревесности  $k$ .

Если учесть, что величины  $\alpha$  и  $k$  близки к постоянным, то число секций разобшителя определяется, прежде всего, максимальной нагрузкой разобшителя древесиной, поступающей с подвижного состава.

Количество переходов между секциями разобшителя

$$m = n - 1 = 3,32 \lg \frac{\lg(0,637N_1 \cdot k \cdot \sin 2\alpha)}{\lg(1,91 \cdot k \cdot \sin 2\alpha)} + 2. \quad (25)$$

Как указывалось выше, последний переход разобшителя предназначается для создания на  $n$ -ой секции заданного интервала  $\lambda$  между отдельными бревнами.

Передаточное число редуктора последнего перехода разобшителя определяется коэффициентом разобшения  $\varepsilon$

$$\varepsilon = i_n = \frac{v_n}{v_{n-1}}. \quad (26)$$

Выдвинутая ранее гипотеза о характере разрушения пачки древесины в момент перехода ее с секции на секцию позволяет установить длину секций разобшителя. Она определяется величиной основания  $A$  образовавшейся пачки, а так как в процессе разобшения образуется ряд пачек, убывающий по количеству бревен, содержащихся в них, то длины секций  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  разобшителя также будут уменьшаться по ходу движения, то есть

$$A_1 > A_2 > A_3 > \dots > A_n.$$

Длина первой секции разобшителя равна основанию разгруженной пачки (4)

$$A_1 = d \sqrt{\frac{\pi \cdot N_1}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}}.$$

Длина любой секции разобшителя

$$A_i = d \sqrt{\frac{\pi \cdot N_i}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}}, \quad (27)$$

но, учитывая равенство (8), можно записать

$$A_i = d \sqrt{\frac{\pi M_{i-1}}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}}. \quad (28)$$

Подставив в формулу (28) значение  $M_{i-1}$  из выражения (18), получим

$$A_i = d \sqrt{\frac{\frac{1}{2^{i-1}} \cdot \Phi \left(1 - \frac{1}{2^{i-1}}\right)}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}}$$

или окончательно

$$A_i = d \cdot N_1^{\frac{1}{2^i}} \cdot \Phi \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2^i}\right) \sqrt{\frac{\pi}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}}, \quad (29)$$

где

$$\Phi = \frac{\pi}{2k \cdot \sin 2\alpha}$$

По формуле (29) можно рассчитать длину любой секции фрикционного разобшителя, где  $i$  — порядковый номер секции по ходу движения.

При конкретных расчетах длин секций разобшителя следует помнить, что формула (29) имеет смысл в пределах конструктивной возможности, то есть

$$d \cdot N_1 \frac{1}{2^i} \Phi \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2^i} \right) \sqrt{\frac{\pi}{k \cdot \operatorname{tg} \alpha}} \geq L, \quad (30)$$

где  $L$  — минимальное (конструктивно возможное) межцентровое расстояние звездочек одной секции.

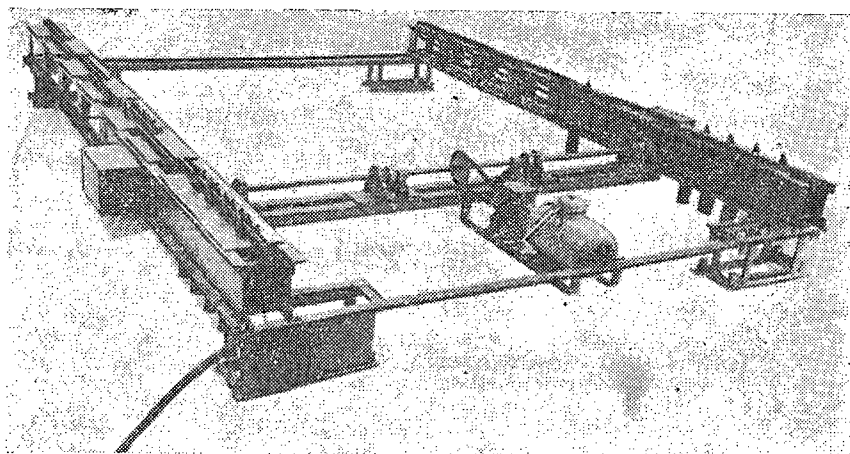


Рис. 4.

На кафедре электротехники Московского лесотехнического института изготовлена опытная установка фрикционного разобшителя пачек круглой древесины (рис. 4) в виде действующего макета (в масштабе 1 : 10). Проведенные опыты по разборке макетных бревен подтвердили достоверность основных теоретических выводов, изложенных в данной работе.

Поступила в редакцию  
20 марта 1963 г.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

О ВОЗОБНОВЛЕНИИ ЛЕСА В ЗЕЛЕНОМОШНО-КУСТАРНИЧКОВЫХ ЕЛЬНИКАХ МЕЗЕНСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

В. М. ГАЛАЕВ

Младший научный сотрудник

(Институт леса и лесохимии Государственного комитета Совета Министров РСФСР по координации научно-исследовательских работ)

В литературе накоплен богатый материал по характеристике лесовозобновления в ельниках зеленомошной группы. Однако для условий Мезенского района таких данных нет. Статья основана на материале рекогносцировочного обследования зеленомошно-кустарничковых ельников и трех стационарных пробных площадей, заложенных экспедицией Института леса и лесохимии в 1960 г.

Эти ельники довольно широко распространены в лесах района. Занимают они обычно ровные или слегка холмистые места. Микрорельеф выражен, образован приствольными повышениями, заросшими льями и колодами.

Почва в ельниках зеленомошно-кустарничковых торфянисто-подзолисто-глеватая, супесчаная. Основной фон в покрове создают зеленые мхи (*Pleurozium Schreberi* Mitt. и *Hylocomium proliferum* Lindb.), занимающие 60—80% площади. Кукушкин лен (*Polytrichum commune* L.) разбросан по всей площади отдельными экземплярами и находится в угнетенном состоянии. В кустарничково-травяном ярусе преобладают брусника (*Vaccinium vitis idaea* L.), вороника (*Empetrum nigrum* L.), черника (*Vaccinium myrtillus* L.), луговик извилистый (*Deschampsia flexuosa* Trin), занимающие 20—40% площади.

В подлеске единично встречается шиповник (*Rosa cinnamomea* L.) и рябина (*Sorbus aucuparia* L.).

В древесном ярусе преобладает ель (*Picea obovata* Ldb.) с примесью березы до 10% (9ЕІВ ед.С). Полнота — 0,5; бонитет — V. Кроны у большинства елей низко опущены, удовлетворительно развиты. Древостой разновозрастный (от 120 до 200 лет).

Для детальной характеристики возобновления леса весь самосев и подрост на пробных площадях учитывали по классификации акад. ВАСХНИЛ И. С. Мелехова [2].

Для более глубокого изучения возрастной структуры и особенностей роста молодняка весь самосев и подрост на пробных площадях вырубали, каждое деревце подробно описывали.

Подрост ели в зеленомошно-кустарничковых ельниках разновозрастный (табл. 1). Это создает предпосылку для формирования древостоев разновозрастной структуры.

Таблица 1

Распределение подроста ели по классам возраста

Высота самосева и подроста, м	Число деревьев по классам возраста (шт.)								Количество самосева и подроста на 1 га
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
До 0,25	56	2	—	—	—	—	—	—	58
0,25—0,5	156	74	2	—	—	—	—	—	232
0,51—1,0	24	149	27	2	—	—	—	—	202
1,1—1,5	2	27	45	7	2	2	—	—	85
1,51—2,0	—	7	32	20	5	4	—	—	68
2,1—3,0	—	4	18	38	36	20	—	—	116
3,1—4,0	—	—	5	10	20	15	2	2	54
4,1—5,0	—	—	—	2	4	12	—	—	18
Всего	238	263	129	79	67	53	2	2	833

Подрост ели не отличается хорошим качеством. Только 46,2% подроста ели относится к категории «благонадежный», остальная часть подроста относится к категориям «сомнительный» (35,3%) и «неблагонадежный» (18,5%).

Главный фактор, определяющий малое количество самосева и подроста ели в ельниках зеленомошно-кустарничковых, — неблагоприятные условия для прорастания семян и развития всходов ели. Разреженность материнского полога определяет сильное развитие мохового покрова. Мхи здесь образуют довольно густой ковер (600—800 особей на 400 см<sup>2</sup>), который представляет механическое препятствие для укоренения всходов. Об этом ранее писали Б. Н. Норин [3], Б. А. Тихомиров [5] и др.

Исследования Конгуниеми [7] показали, что в этом отношении особенно опасны мхи *Pleurozium Schreberi* Mitt. и *Rhytidium rugosum* Kindb.

О неблагоприятном влиянии мохового покрова на прорастание семян и развитие всходов древесных пород убедительно говорят также многочисленные наблюдения над успешным возобновлением древесных пород после низовых пожаров и на участках с искусственно удаленным напочвенным покровом (М. Е. Ткаченко [6], И. С. Мелехов [1], В. В. Репневский [4] и др.).

Таблица 2

## Характеристика хода роста благонадежного подроста ели

Средняя высота, м	Средний диаметр, см		Средний возраст, лет	Количество моделей	Текущий прирост по высоте за последние пять лет, см				
	у шейки корня	на высоте груди			1960	1959	1958	1957	1956
0,23	0,33	—	8	14	2,2	1,8	1,9	2,4	2,3
0,32	0,55	—	13	25	2,6	2,4	2,4	2,2	2,6
0,41	0,63	—	18	40	2,5	2,3	2,4	2,5	2,6
0,51	0,98	—	22	31	3,0	2,4	2,4	2,7	2,8
0,75	1,40	—	28	24	3,2	3,1	2,9	3,2	3,4
0,90	1,70	—	32	14	3,2	2,9	2,8	2,9	3,4
1,31	2,50	—	37	14	5,0	4,9	4,5	3,2	5,5
0,90	3,40	1,90	53	14	3,6	3,4	3,4	3,1	3,4
2,46	4,20	2,70	58	17	4,0	4,0	4,4	4,3	4,2

Большой интерес представляют данные по росту подроста ели в зеленомошно-кустарничковых ельниках (табл. 2).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. И. С. Мелехов. Концентрированные рубки и лесовозобновление в бассейне Северной Двины. Труды АЛТИ, т. 13, 1949. [2]. И. С. Мелехов. Изучение концентрированных рубок и возобновление леса в связи с ними в таежной зоне. Сб. «Концентрированные рубки в лесах Севера» изд. АН СССР, М., 1954. [3]. Б. Н. Норин. К познанию семенного и вегетативного возобновления древесных пород в лесотундре. «Растительность Крайнего Севера и ее освоение», вып. 3, изд. АН СССР, М.-Л., 1958. [4]. В. В. Репневский. К характеристике лишайниковых вырубок и возобновление сосны на Кольском полуострове. Основы типологии вырубок и ее значение в лесном хозяйстве, Архангельск, 1959. [5]. Б. А. Тихомиров. Значение мохового покрова в жизни растений Крайнего Севера. «Ботанический журнал», т. 37, № 5, 1952. [6]. М. Е. Ткаченко. Леса Севера. Труды по лесному опытному делу в России, т. 25, 1911. [7]. T. Konguniemi. J. Über die fructificative Vermehrung der Waldpflanzen in den subalpinen Zone von Petzamo. Ann. Bot. soc. Zool. — botanic Fennic Vanamo, Bd. 2, № 4, 1932.

## К ВОПРОСУ О СРОКАХ ПОСЕВА СЕМЯН СОСНЫ И ЕЛИ

**Л. А. ЕРШОВ**

Кандидат сельскохозяйственных наук

(Северная лесная опытная станция)

Известно, что срок посева семян — важный фактор, оказывающий большое влияние на успех дела при создании лесных культур и выращивании сеянцев. Для некоторых районов СССР, в частности для Архангельской области, наиболее благоприятные периоды посева семян не установлены еще достаточно надежно. В связи с этим И. С. Мелехов писал в 1954 г. [3], что одна из задач при изучении искусственных способов выращивания леса на Севере — изучение сроков посева.

Из опубликованных в 1959 [2] и 1960 [4] гг. работ, относящихся к этому вопросу, видно, что летние посевы давали дружные и многочисленные всходы, которые на следующий год в значительной степени гибли от выжимания морозом и других причин. Осенние посевы половины августа и конца сентября также оказались неудачными. Общим недостатком обоих упомянутых опытов было то, что хотя посевы производили в разные сроки, обследовали их всего 1—2 раза. При этом можно было установить лишь конечные результаты.

Автор статьи в 1960 г. поставил совместно с А. С. Нефедовым подобный опыт на питомнике Северной ЛОС, где за состоянием посевов можно было следить ежедневно, и это дало возможность получить некоторые уточнения к имевшимся представлениям.

Посевы производили на двух расположенных рядом грядах, разбитых на 9 секций каждая. На одной гряде высевали семена сосны, а на другой — ели. Посев строчный (поперек гряды с ручной заделкой) на глубину 2 см. В каждый срок высевали 2600 шт. семян сосны и 2120 шт. семян ели. Техническая вохожесть у сосны 88%, у ели — 78%. Прополку посевов производили еженедельно, полив — один раз — 12 августа 1960 г. Данные о сроках появления первых всходов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Даты посевов	Даты появления всходов		Число дней со дня посевов		Количество всходов, % от количества высеванных семян	
	сосна	ель	сосна	ель	сосна	ель
1.V-60 г.	2.VI-50 г.	2.VI-60 г.	32	32	29	13
15.V	9.VI	9.VI	24	24	31	16
1.VI	20.VI	20.VI	20	20	27	15
15.VI	30.VI	30.VI	15	15	26	12
1.VII	14.VII	14.VII	14	14*	18	7
15.VII	27.VII	27.VII	42	42	7	4
1.VIII	23.VIII	23.VIII	23	27	6	4
15.VIII	30.VIII	30.VIII	15	15	5	3
1.IX	2.VI-61 г.	2.VI-61 г.			0	0

Наблюдения показали, что число дней от посева до появления всходов уменьшается постепенно от мая к июлю, что легко можно объяснить постепенным прогреванием почвы. Посев от 15 июля не давал всходов 42 дня. Объясняется это тем, что с 25 июля по 18 августа практически не было дождей; после сделанного нами 12 августа 1960 г. полива пряд всходы появились на пятнадцатый день. Почти то же самое произошло и с посевами от 1 августа. Интересно то, что, пролежав в сухой земле

более месяца, семена и после полива дали в 1960 г. всходов меньше, чем посевы других сроков. Значительная часть семян в этом варианте посева дала всходы лишь на следующий год (табл. 2).

19 сентября 1960 г. был произведен сплошной пересчет живых всходов по всем срокам посева. Данные, выравненные по способу скользящей средней [5], приведены в табл. 1.

Пересчет показал, что для обеих пород общим оказалось снижение количества всходов от мая к июлю, а на сентябрьских посевах всходы появились лишь на следующий год. Результаты июльских посевов могли бы казаться странными, так как в обоих предыдущих исследованиях [2], [4] они давали дружные и многочисленные всходы, но это расхождение легко объяснить тем, что июль 1960 г. был очень засушливым. По данным Емцовской метеостанции [6], в июле 1960 г. выпало всего 16 мм осадков при среднемесячной многолетней норме 56 мм. До половины августа дождей не выпадало вообще, вследствие чего и августовские посевы дали в 1960 г. очень мало всходов.

11 мая 1961 г. сразу после схода снега, пересчет всходов на всех грядках был произведен вторично. Оказалось, что все всходы посевов от 1 мая до 1 июля прекрасно сохранились, а на посевах от 15 июля до 15 августа они полностью погибли. Так как все всходы ушли под снег здоровыми и признаков заболеваний обнаружено не было и весной, то следует считать, что причиной полной гибели всходов на посевах трех упомянутых сроков может быть лишь низкая температура. На возможность гибели неокрепших всходов от низких температур указывает, например, Н. Е. Декатов [1].

Дальнейшие наблюдения показали, что на посевах от 15 июля 1960 г. и более поздних сроков часть семян стала прорастать в июне 1961 г. 15 ноября 1961 г. был произведен пересчет всходов на посевах этих сроков. Данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Даты посевов	Количество всходов, % от количества высеванных семян	
	сосна	ель
15.VII-60 г.	15	6
1.VIII-60 г.	7	3
15.VIII-60 г.	4	3
1.IX-60 г.	17	20

Из табл. 2 видно, что сентябрьские посевы, хотя всходы их непосредственно не подвергались воздействию низких температур, все же дали всходов почвы вдвое меньше, чем посевы майско-июньские.

Заканчивая рассмотрение результатов этого небольшого опыта, можно сказать следующее.

1. Июль и август являются наименее благоприятными периодами для посевов сосны и ели, так как всходы (если они и появляются) оказываются не подготовленными к перезимовке. Всходы сосны и ели, появляющиеся над поверхностью почвы во второй половине августа, гибнут от низких температур.

2. Несколько лучшие результаты дают посевы в сентябре, так как семена в этом случае прорастают только на следующий год. Однако всхожесть сильно снижается.

3. Майско-июньские посевы сосны и ели дают наиболее многочисленные всходы, хорошо переносящие зимовку. Именно этот период следует использовать для посева.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н. Е. Декатов. Мероприятия по возобновлению леса при механизированных лесозаготовках. Гослесбумиздат, 1961. [2]. Л. А. Ершов. К вопросу о сроках посева семян сосны. ИВУЗ, «Лесной журнал» № 5, 1959. [3]. И. С. Мелехов. Изучение концентрированных рубок и возобновления леса в связи с ними в таежной зоне. Сборник статей АН СССР, М., 1954. [4]. Ф. Б. Орлов. Летние посевы хвойных на Севере. Журн. «Лесное хозяйство» № 3, 1960. [5]. Ю. Л. Поморский. Вариационная статистика. Ч. 2, Л., 1952. [6]. Северное Управление гидрометеослужбы. Климатологический справочник СССР. Вып. I, ч. II, Л., 1957.



К ВОПРОСУ ОБОРАЧИВАЕМОСТИ ПЛАСТА ПРИ ВСПАШКЕ  
ВЫРУБОК ПЛУГОМ ПКЛ-70

А. С. СИННИКОВ

Доцент, кандидат сельскохозяйственных наук

(Архангельский лесотехнический институт)

Вспашка почвы плугом ПКЛ-70 не во всех случаях дает удовлетворительные результаты вследствие неполной обрачиваемости пласта на задернелых и мшистых вырубках. Нами в 1962 г. в Хозьминоком лесничестве Вельского леспромхоза Архангельской области была проведена опытная вспашка на двух участках (табл. 1).

Таблица 1

Участок	Квартал год рубки	Число пней на 1 га степень их разложения	Толщина дернины, см	Число лиственных на 1 га высота, м	Протяжение учетных борозд, м			
					с полным оборотом пласта	с пластом, легшим на борозду	с пластом, вставшим на ребро	с процарапыванием почвы без оборота пласта
1а	$\frac{106}{1949}$	$\frac{500}{\text{сильная}}$	2—3	—	651	170	4	—
1б	$\frac{106}{1949}$	$\frac{500}{\text{сильная}}$	1,5—2	$\frac{50 \text{ тыс.}}{1,5—2}$	167	15	30	31
2	$\frac{97}{1950}$	$\frac{400}{\text{сильная}}$	5—6	$\frac{20 \text{ тыс.}}{2—2,5}$	379	97	194	356

На 1 га — около 500 сильно разложившихся пней, которые не препятствовали вспашке. По механическому составу почва супесчаная. В напочвенном покрове преобладают луговик и вейник. Местами есть молодняк осины, березы и ивы. На участках были проведены борозды двухотвальным корпусом плуга ПКЛ-70.

Как видно из приведенных данных, характер обрачиваемости пластов в зависимости от состояния вырубки различен. Наиболее удовлетворительные результаты вспашки получены на 1а участке.

На 1б участке увеличилась протяженность борозд, где пласт встал на ребро. Это объясняется тем, что корни лиственных пород сравнительно прочно удерживали пласт на ребре, не позволяя ему обрачиваться в ту или иную сторону. Появились участки борозд, где плуг не заглублялся в почву, а скользил по поверхности, слегка ее процарапывая.

На участке 2 полная обрачиваемость пласта резко сократилась и составила всего 37%. Зато значительно возросла протяженность борозд, где пласт встал на ребро, и участков борозд, процарапанных плугом без заглубления в почву. Основная причина этого — сильное задернение луговиком и вейником, создающими мощную пружинистую дернину.

Теоретические расчеты показывают, что пласт должен устойчиво обрачиваться, если коэффициент предела его устойчивости  $K$  более 1,27. У плуга ПКЛ-70 минимальный коэффициент  $K = 2—2,2$ . С уменьшением глубины вспашки он увеличивается и при

минимальной глубине пахоты 6 см двухотвальным корпусом ПКЛ-70 составит  $K = \frac{b}{a} \approx \frac{35}{6} = 5,8$ . Пласт в этом случае должен был бы обернуться устойчиво.

При вспашке незадернелых почв или слабозадернелых с рыхлой дерниной действительно это и происходит. Иное положение наблюдалось при пахоте луговико-вейниковой среднезадернелой вырубке при толщине дернины 2—2,5 см. Так, при вспашке на глубину 8 см, когда  $K = 4,4$ , из 46 погонных метров борозд пласт обернулся устойчиво только на протяжении 27 м. При этих же условиях, когда глубина вспашки была 8—16 см, пласт обрачивался хорошо. Из приведенных примеров видно, что на задернелых вырубках увеличение коэффициента предела устойчивости пласта путем уменьшения глубины пахоты не дает положительных результатов. С увеличением глубины пахоты, а следовательно, с уменьшением коэффициента предела устойчивости пласта, на задернелых вырубках пласт обрачивается более устойчиво. Этому способствует увеличение его веса с глубиной вспашки. Однако в условиях сильного задернения луговиком и вейником, когда дернина плотной толщиной 6—8 см, даже большой вес поднимаемого пласта при максимальной глубине вспашки 16 см не может преодолеть упругих сил дернины.

Нами было проведено взвешивание шести необернувшихся пластов размерами: длиной 1 м, шириной 0,35 м и толщиной 0,13—0,16 м. Вес каждого пласта составил от 60 до 80 кг в зависимости от его толщины. Толщина луговиковой и вейниковой дернины 6—8 см. В этих условиях упругие силы дернины луговика и вейника становятся настолько большими, что или удерживают пласт в неустойчивом положении (на ребре), или обрачивают его обратно в борозду. Увеличение глубины пахоты и, следовательно, веса пласта по нашим наблюдениям при работе одноотвального корпуса ПКЛ-70 ведет к устойчивости обрачиваемости пластов, если  $K > 1,27$ .

Для надежной обрачиваемости пластов и для более широкого использования двухотвального плуга на задернелых вырубках с агротехнической точки зрения полезно изменить конструкцию плуга ПКЛ-70 с тем, чтобы в необходимых случаях можно было проводить вспашку двухотвальным корпусом на глубину до 20—22 см. В этом случае коэффициент предела устойчивости пласта будет равен 1,6—1,7. Увеличение веса пласта будет способствовать лучшей его обрачиваемости на сильно задернелых вырубках.

Для обеспечения надежного оборота пласта при мелкой вспашке задернелых вырубок целесообразно на особом кронштейне монтировать силовое перо, предложенное В. П. Лисютиним\*.

\* В. П. Лисютин. Силовое исследование лесного навесного плуга. ИВУЗ. «Лесной журнал» № 4, 1960.

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

РЕЦЕНЗИЯ НА СБОРНИК ДОКЛАДОВ  
И СООБЩЕНИЙ «ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ  
ЛЕСОВ ЗАПАДНЫХ И ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНОВ СССР»\*

Советское государство вверило лесоводам огромные площади народных земель под лесной фонд, то есть специально для выращивания леса. Естественно возникает вопрос, везде ли в лесном фонде действительно растет лес, не пустуют ли земли, какой лес растет на покрытых лесом площадях, достаточной ли продуктивности по запасу, приросту, качеству древесины, защитным свойствам.

Особенно остро стоит вопрос об удовлетворении растущих потребностей народного хозяйства в продуктах леса западных и центральных районов СССР, где проведены значительные рубки.

В ближайшее время в районах Запада, Центра, Юга, где почвы более плодородные и где более длителен вегетационный период, имеется реальная возможность повысить продуктивность лесных площадей, увеличить средний прирост на 1 га лесной площади не менее, чем на 10—15%.

Это возможно сделать за счет растущей механизации и улучшения организации лесовосстановительных работ, за счет осушения заболоченных площадей, закультивирования всех непродуцирующих лесных площадей, разведения быстрорастущих и хозяйственно ценных древесных пород, развития мер ухода за культурами, молодняками, подрастающими древостоями. Разъяснение народнохозяйственной значимости проблемы повышения продуктивности наших лесов, средств к ее достижению, сосредоточение сил лесоводов на ее выполнении, послужило основанием к обмену опытом на специальном совещании в г. Минске, к выпуску для широкого круга лесоводов рецензируемой книги.

Сборник отражает работу пленарных заседаний и секций.

На пленарных заседаниях по материалам лесного хозяйства Белорусской (С. Г. Монсеенко), Украинской (Б. Лукья-

нец), Литовской ССР (В. Вербило) показано состояние лесного хозяйства в республиках, размеры рубок леса и лесовыращивания, лесистость, прирост, освоение заболоченных земель, выращивание тополей, техническая оснащенность работ по лесовыращиванию, размеры рубок леса, намечены основные мероприятия по повышению продуктивности лесов (Б. Д. Жижкин). Значительное место отведено изложению путей развития механизации трудовых процессов лесного хозяйства (И. М. Зима) и методам определения эффективности мероприятий по повышению продуктивности лесов (В. И. Переход).

Все доклады и сообщения по секциям лесоводства, лесовозобновлению и лесоразведению имеют прямое отношение к центральной теме конференции и в той или иной мере способствуют повышению продуктивности лесов. Особый интерес и актуальность представляют доклады: Х. А. Писарькова «Практическое значение некоторых гидрологических факторов при определении степени осушения лесных земель», К. Ф. Мирона «Первые итоги сортоиспытания тополей в Белорусской ССР», Э. Э. Лаас «О перспективных видах лиственных породы для западных районов СССР», К. Е. Никитина «Роль лиственницы и ее роль в повышении продуктивности лесов Украины» и др.

В секции организации лесного хозяйства наибольший интерес представляет доклад Ф. Т. Костюковича по экономическому обоснованию возраста рубки древостоев.

В разрез общему направлению работы конференции прозвучало выступление А. А. Байтина в защиту принципа «постоянства пользования в лесном хозяйстве», который еще в 1932 г. вместе с «идеями нормального леса» советской теорией и практикой отвергнуты как несовместимые с социалистической системой хозяйства и не вытекающие из нее.

Несомненно, что в плодотворной работе конференции обнаружилось и свои недостатки.

Недостаточно еще выявлены и охарактеризованы лесокультурный и лесоме-

\* Изд-во Министерства высшего, среднего специального и профессионального образования БССР, Минск, 1962.

лиоративный фонд для усиления лесокультурных и лесомелиоративных работ. Не все сделано по выявлению и подготовке молодых, средневозрастных и приспевающих лесов для развития рубок ухода. Многие предстоит сделать в области разработки, испытаний разных типов агролесотехники по лесорастительным и экономическим районам. Больше внимания надо уделить обобщению и распространению передового опыта повышения продуктивности в лесах разных категорий защитности. Многие предстоит сделать в области экономики, организации лесохозяйственного производства. Все это связано с повышением материально-технической базы лесного хозяйства, без

которой невозможно решить больших перспективных задач повышения продуктивности наших лесов в два, три и больше раз, чтобы не только догнать, но и превзойти уровень продуктивности лесов передовых стран капитала.

В целом выход в свет сборника, посвященного повышению продуктивности наших лесов, является хорошим началом и окажет существенную пользу лесоводам в их практической работе.

**С. В. Малышев.**

Доцент, кандидат экономических наук  
(Ленинградская лесотехническая академия)

## ИЗ ЖИЗНИ ВУЗОВ

В УЧЕНОМ СОВЕТЕ  
ВОРОНЕЖСКОГО ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

В первом квартале 1963 г. на Совете Воронежского лесотехнического института состоялась успешная защита четырех кандидатских диссертаций, из них три — на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук и одна — на соискание степени кандидата технических наук.

24 января 1963 г. младший научный сотрудник ВНИИЛМа Ерусалимский Владимир Израилевич защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук на тему «Сравнительная лесоводственная оценка различных способов подготовки почвы под культуры сосны на концентрированных вырубках».

Диссертация имеет большое народнохозяйственное значение, так как она дает сравнительную оценку существующих в настоящее время способов обработки почвы и рекомендует к внедрению в производство лучшие способы агротехники для большого объема лесокультурных работ в зоне таежных и смешанных лесов, где проведение таких работ требует разработки простых и экономически выгодных способов создания лесных культур и ухода за ними.

Диссертантом проведена большая 8-летняя работа по изучению существующих лесных культур и произведена закладка собственных опытов.

7 февраля с. г. научный сотрудник ВНИИЛМ Климов Глеб Борисович защитил кандидатскую диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Выбор типа и обоснование основных параметров рабочих органов навесного сеянокопателя».

Диссертация посвящена разработке теоретических вопросов по обоснованию типа и параметров рабочих органов выкопного орудия, а также решению практической задачи по созданию навесного сеянокопателя.

Диссертантом получен патент на изобретение навесного сеянокопателя, пущенного в серийное производство. В практической работе это орудие получило хорошие отзывы предприятий лесного хозяйства. Проведены большие экспериментальные исследования с теоретическими обоснованиями. Диссертация Г. Б. Климова вносит значительный вклад в дело механизации особо трудоемких процессов работы в питомниках — выкопки посадочного материала.

7 марта 1963 г. защитил диссертацию на соискание степени кандидата сельскохозяйственных наук старший преподаватель Воронежского лесотехнического института Веретенников Александр Тимофеевич на тему «Хозяйственное значение широкого внедрения тополя в лесохозяйственное производство Оренбургской области».

В проблеме повышения производительности лесов важная роль принадлежит быстрорастущим породам, в том числе и тополям.

Автор исследовал экономическую эффективность внедрения тополя в лесохозяйственное производство Оренбургской области. Внедрение их приводит к ускорению оборачиваемости оборотных средств и уменьшению в 2—3 раза объема незавершенного производства, дает возможность наибольшего обеспечения древесиной местных потребителей в большем количестве и в более короткие сроки.

Изучение автором хода роста, продуктивности и товарности топовых насаждений представляет большой интерес для работников лесоустройства.

В тот же день соискатель степени кандидата сельскохозяйственных наук старший преподаватель Архангельского лесотехнического института Совершаев Павел Федорович защитил диссертацию на тему «О выжимании лесных культур в условиях Севера».

Исследования автором причин выжимания всходов, которые в условиях Севера достигают 95%, представляют большой практический интерес. Автор установил, что основной причиной выжимания семян является морозное пучение и кристаллизация почвы. Степень пучения почвы зависит от ее состава и агротехники обработки почвы.

Диссертант установил оптимальные условия для сохранения молодых лесокultur от выжимания морозом, разработал рекомендации по борьбе с ним.

Эти рекомендации внедрены в производство лесных культур в условиях Севера. Приживаемость лесных культур, созданных с учетом предложенной диссертанта, по отзывам лесных предприятий Севера, выше, чем производимых обычным методом.

В. Т. Остапенко.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

В. И. Арабаджи, С. Г. Ходасевич. О поражении деревьев молнией . . . . .	3
П. Ф. Совершаев. О влиянии выжимания всходов и семян морозом на их приживаемость . . . . .	6
В. И. Калинин. Возрастное строение лиственничных древостоев Архангельской области . . . . .	9
А. М. Гусейнов, Н. А. Садыхов. Ход роста семенных насаждений каштанолистного дуба . . . . .	13
А. В. Красикова. Рак на пихте сибирской . . . . .	18
В. Н. Валяев. Динамика таксационных показателей разновозрастных еловых насаждений . . . . .	22
В. Е. Рудаков. О зависимости прироста дерева от величины прироста предшествующего года . . . . .	27
В. И. Таранков. Особенности распределения снежного покрова в хвойно-широколиственных лесах Южного Приморья . . . . .	31
В. Антанайтис, Т. Битвинскас. Исследование текущего прироста насаждений в Литовской ССР . . . . .	35
А. М. Краснитский. Фенологические особенности липы в Жигулях и перспективы повышения продуктивности насаждений . . . . .	39
Г. В. Мякотина. О семенниках ели на сплошных вырубках . . . . .	44

### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

В. А. Тулатов. Определение провеса несущего каната под действием собственного веса и сосредоточенного пружа с учетом вертикальной и горизонтальной составляющих усилий тягового каната . . . . .	47
В. С. Петровский. Вопросы теории раскрытия древесных стволов . . . . .	53
А. С. Иванкович. Определение силы тяги, необходимой для работы ползучего балластировочного органа . . . . .	62
А. И. Логинов. Исследование ходовых качеств лесовозных вагонов-цепов при движении с повышенными скоростями . . . . .	65
И. С. Горюнов. Исследование сопротивления движению локомотивов и вагонов нормальной и узкой колеи от колебаний наддрессорного строения . . . . .	71
А. Г. Прохоренко. Определение скорости и времени движения пружа по проволочному лесоспуску . . . . .	77

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

П. Н. Хухрянский. Грузоподъемность подшипников из прессованной древесины . . . . .	84
А. А. Поздняков. Усталостная прочность древесины при ограниченном числе циклов . . . . .	96
Ю. М. Ошурков, В. Н. Петри. К вопросу об агенте сушки ( $tP_{II}$ -диаграмма) . . . . .	102

- Б. Д. Колчанов. О влиянии расположения пропила относительно годовых слоев и расстояния его от центра ствола на удельную работу резания при пилении . . . . . 111
- Н. П. Федышин. О сроках просыхания пиломатериалов при атмосферной сушке по климатическим зонам . . . . . 116

#### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- А. Н. Завьялов. Лигнин — потенциальное сырье для получения синтетических волокон . . . . . 118
- Е. Д. Гельфанд. Определение 2-метокси-4-пропионилфенола методом Верлея . . . . . 126
- Б. С. Филиппов, А. Е. Соснин. Использование ствольного осмола в сульфат-целлюлозном производстве . . . . . 129
- В. В. Фефилов, Е. В. Клиньских. Синтез жидкого топлива на основе древесного генераторного газа . . . . . 137
- И. И. Орлов. О биологической и технологической смолопродуктивности сосны . . . . . 140

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

- А. Э. Грубе, В. И. Санев. Динамическое исследование движения заготовок в рейсмусовом станке . . . . . 145
- А. Н. Полищук. К теории фрикционных разобщителей пачек круглой древесины . . . . . 159

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- В. М. Галаев. О возобновлении леса в зеленомошно-кустарничковых ельниках Мезенского района Архангельской области . . . . . 166
- Л. А. Ершов. К вопросу о сроках посева семян сосны и ели . . . . . 168
- А. С. Сивников. К вопросу оборачиваемости пласта при вапашке вырубкой лугом ПКЛ-70 . . . . . 170

#### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- С. В. Малышев. Рецензия на сборник докладов и сообщений «Повышение продуктивности лесов западных и центральных районов СССР» . . . . . 172

#### ИЗ ЖИЗНИ ВУЗОВ

- В. Т. Остапенко. В ученом совете Воронежского лесотехнического института . . . . . 174

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Рукописи статей принимаются редакцией по рекомендации соответствующих кафедр высших учебных заведений. Могут быть приняты также статьи сотрудников научно-исследовательских учреждений (с разрешения их руководства) и от отдельных работников науки и производства. Журнал может напечатать присланную работу только при наличии письменного предварительного согласия автора на опубликование его статьи без выплаты авторского гонорара.

Статьи, представляемые в журнал, как правило, не должны превышать 8—10 страниц машинописного текста. Статьи библиографического характера не должны быть более 3 страниц. В заглавии статьи указываются ее название, инициалы и фамилия автора (или авторов) и полное наименование того учреждения, в котором проделана описываемая в статье работа. Рукописи направляются в редакцию в двух отчетливо оформленных экземплярах на хорошей бумаге, перепечатанные на машинке через два интервала на одной стороне листа. На листе должно быть не более 30 строк, а в строке не более 60 знаков. С левой стороны листа оставляется чистое поле шириной в 30 мм. Все страницы рукописи должны быть пронумерованы. На полях рукописи необходимо карандашом указать места рисунков и цифровых таблиц, если последние прилагаются к статье на отдельных листах. Иностранные слова должны быть вписаны на машинке или разборчиво чернилами от руки.

Особое внимание должно быть обращено на аккуратное написание индексов и показателей степени. Следует делать ясное различие между заглавными и строчными буквами. Во избежание недоразумения заглавные буквы следует подчеркивать двумя черточками снизу, а строчные — двумя черточками сверху. Особенно это касается таких букв, как *V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k*, *U* и *u*, *C* и *c*. Необходимо самое серьезное внимание обращать на аккуратное вписывание схожих по начертанию букв: *h* и *n*, *q* и *g*, *l* и *e*, *v* и *u*, *и* и *a*, *o* и *a*, *I* и *j*, *z* и *ξ*.

Для отличия от буквы *O* ноль (0) оставлять без подчеркивания. Греческие буквы должны быть обведены красным карандашом, латинские — синим.

Приводимый в статье графический материал не должен дублировать цифровых таблиц. Никакие сокращения слов, имен, названий, как правило, не допускаются. Возможно употребление лишь общепринятых сокращений — мер (только после цифр), химических, физических и математических величин. Названия учреждений,

предприятий, марки механизмов и т. п., упоминаемые в тексте статьи, в первый раз нужно писать полностью (указав в скобках сокращенное название); в дальнейшем это наименование можно давать только сокращенно.

При ссылке в тексте статьи на работы других авторов следует в скобках указывать фамилию автора и год издания его работы. Упоминания имен иностранных авторов даются в русской транскрипции, ссылки на иностранные работы — на том языке, на котором они опубликованы. В случае приведения цитаты необходимо указать, откуда она взята (автор, название работы или номер тома, год издания, страницы).

Список литературы должен содержать лишь цитируемые в тексте статьи работы и, наоборот, все упоминаемые в тексте работы должны быть помещены в списке литературы. В списке указываются фамилия и инициалы автора, название работы, журнал, в котором она опубликована (для книг — место издания и издательство), год издания, № журнала. Название журнала, в котором опубликована упоминаемая в описке литературы работа, дается полностью. Ссылка на неопубликованные работы не допускается.

Рукопись должна быть тщательно выверена, подписана автором и иметь визу руководителя кафедры, если статья написана работником вуза; должны быть написаны дата отправки рукописи, полное имя и отчество автора, его ученое звание и степень, а также служебный и домашний почтовые адреса и номера телефонов.

Иллюстрации представляются в одном экземпляре. Они должны быть пригодны для цинкографического воспроизведения (фотографии должны быть четкими, чертежи необходимо делать черной тушью пером на ватмане, тени на рисунках — при помощи точек или штрихов). На обратной стороне рисунка должны быть указаны его порядковый номер, соответствующий номеру в списке, и фамилия автора. Подписи к рисункам должны быть приложены на отдельном листе, перепечатанными на машинке.

Редакция может возвращать авторам небрежно написанные статьи с требованием об их лучшем изложении и более аккуратном оформлении.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения рукописей. Корректур статей авторам, как правило, не предоставляется.

Авторы получают бесплатно 30 оттисков своей статьи (за исключением публикаций в отделе библиографии и хроника).



Весовая доля вод. пара в 1кг сушильного агента

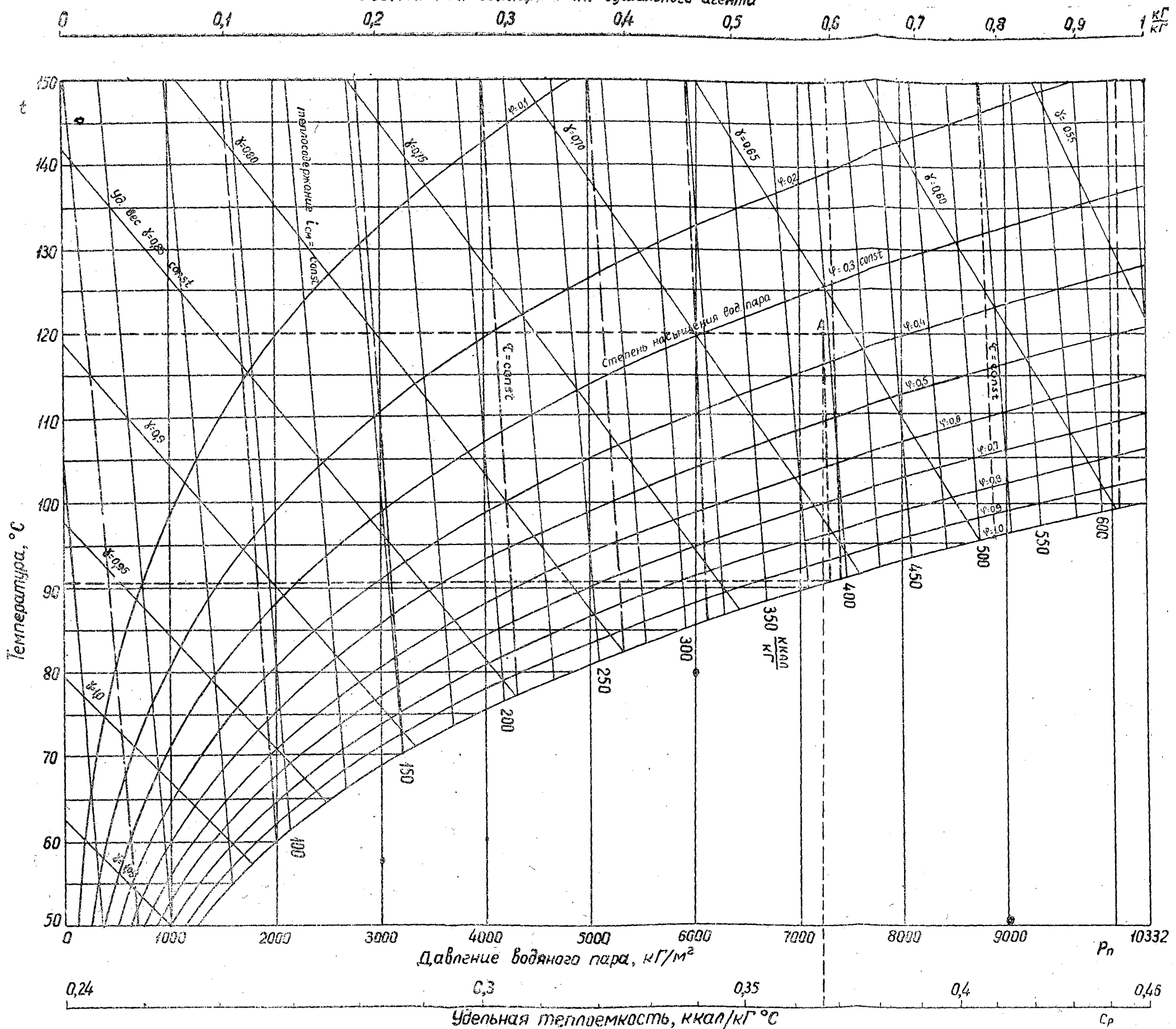
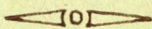


Рис. 1.  $tP_n$ -диаграмма влажности воздуха для  $P_n = 0 \div 10332 \frac{kg}{m^2}$

МИНИСТЕРСТВО  
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ



ЛЕСНОЙ  
ЖУРНАЛ



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

Цена 1 руб.

**Подписывайтесь  
на журнал на 1964 г.**

**«ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ»  
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР**

Раздел

**„ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ“**

«Лесной журнал» выходит один раз в два месяца номерами по 15 печатных листов каждый. Подписная цена на год — 6 руб. Цена отдельного номера — 1 руб.

Подписка принимается органами «Союзпечати». В случае отказа в приеме подписка может быть оформлена через редакцию.

По заявке, направленной в редакцию, комплекты журналов и отдельные номера за 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963 гг. высылаются наложенным платежом.

Адрес редакции: Архангельск, Набережная В. И. Ленина, 17, АЛТИ, «Лесной журнал».