

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

---

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

*Лесной журнал*

ГОД ИЗДАНИЯ ВОСЕМНАДЦАТЫЙ

3

1975

АРХАНГЕЛЬСК

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Проф. И. М. Боховкин (отв. редактор), доц. Е. С. Романов (зам. отв. редактора), доц. С. И. Морозов (зам. отв. редактора), проф. Н. М. Белая, доц. П. И. Войчалъ, проф. И. В. Воронин, проф. М. Л. Дворецкий, доц. Г. Л. Дранишников, проф. М. И. Зайчик, проф. С. Я. Коротов, акад. ВАСХНИЛ, проф. И. С. Мелехов, доц. Н. В. Никитин, проф. А. Н. Песоцкий, доц. В. О. Самуйлло, проф. В. Н. Худоногов, проф. В. В. Щелкунов.

Ответственный секретарь редакции А. И. Кольцова.

---

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

Выходит 6 раз в год.

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975.

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

---

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 3  
(Год издания восемнадцатый)

---

Сдан в набор 21/IV 1975 г. Подписан к печати 30/VI 1975 г.  
Форм. бум. 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печ. л. 15,4 + 4 вкл. Физ. л. 11. Уч.-изд. л. 15,86.  
Тираж 2550. Ст. 00032. Заказ 2695. Цена 1 руб.

---

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

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 631.316.5

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК,  
ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЛЕСНОЙ ДИСКОВЫЙ КУЛЬТИВАТОР

П. С. НАРТОВ, П. И. ЖИДКИХ

Воронежский лесотехнический институт

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению нагрузок, действующих на элементы конструкций лесных дисковых культиваторов разных типов. Даны зависимости, позволяющие выяснить влияние конструкции предохранительного механизма на характер изменения усилий при встрече рабочих органов культиваторов с препятствием.

В лесном хозяйстве нашей страны около 60% лесовосстановительных работ проводится на нераскорчеванных вырубках. В этих условиях работа лесных почвообрабатывающих машин сопровождается массовыми поломками при наезде рабочих органов машины на пни, крупные корни, порубочные остатки, валежник, что связано с большими динамическими нагрузками. При ударе рабочего органа о препятствие кинетическая энергия движения почвообрабатывающего агрегата переходит в работу, расходуемую на деформацию узлов и деталей машины и системы навески трактора. Многие лесные почвообрабатывающие машины, выпускаемые в СССР, снабжены специальными предохранительными устройствами, благодаря чему достигается частичное устранение поломок, повышается надежность и долговечность этих машин. Однако эти устройства не обеспечивают полной защиты машины от ударных нагрузок и поломок, что объясняется несовершенством конструкций предохранителей.

В целях выявления путей повышения надежности и долговечности лесных почвообрабатывающих машин нами были проведены экспериментальные исследования по определению нагрузок, действующих на элементы конструкций лесных дисковых культиваторов разных типов. Были использованы культиватор ДЛКН-6/8, имеющий жесткое крепление дисковых батарей к раме, культиватор КЛБ-1,7, укомплектованный одношарнирным пружинным предохранительным механизмом, а также разработанный нами опытный образец дискового культиватора, снабженного четырехзвенным пружинным предохранительным механизмом\*.

Сравнительные испытания культиваторов проводили в Учебно-опытном лесхозе Воронежского лесотехнического института на нераскорчеванной вырубке. Рельеф участка ровный, почва — темно-серый лесной суглинок. До вырубki насаждение представляло собой порослевой дубняк VI—VIII классов возраста с наличием второго яруса из клена и липы. Задернение участка среднее. Количество пней — до 800 шт. на 1 га. Средний диаметр пней — 25 см, высота — 27 см. Влажность почвы во время испытаний — 20—25%, средняя твердость — 18—20 кгс/см<sup>2</sup>.

\* Нартов П. С., Жидких П. И. Подвеска рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Авторское свидетельство на изобретение № 357902.

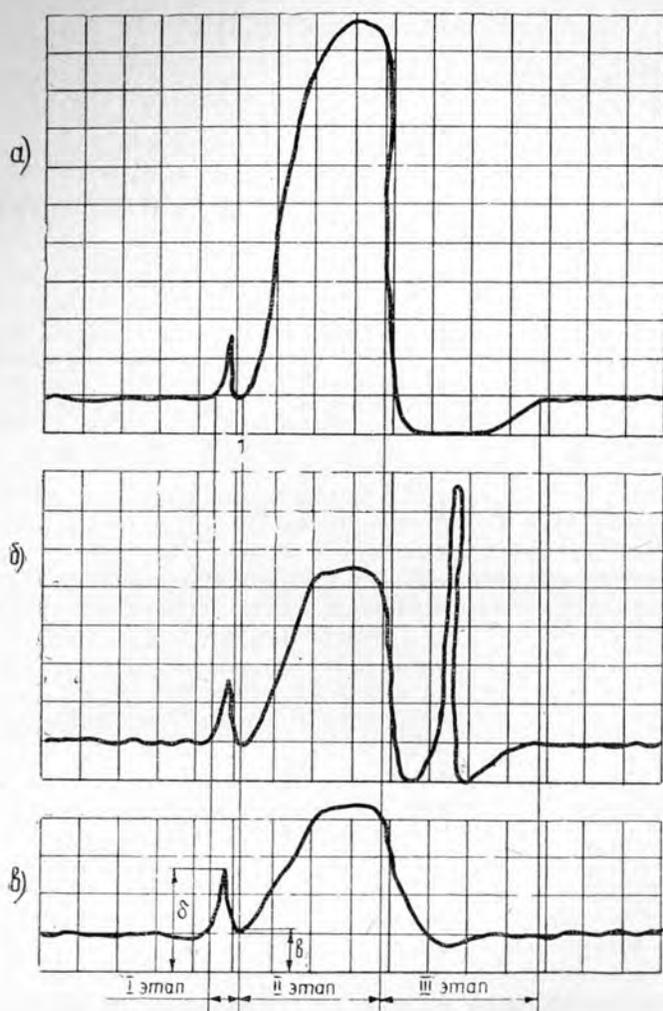


Рис. 1.

Исследования проводили с помощью тензометрических приборов и передвижной тензоплаборатории СТИЛ. Во время опытов записывали усилия в звеньях механизма навески трактора и звеньях предохранительного механизма (пружинах), а также усилия, действующие на батареи.

На рис. 1 приведены кривые, характеризующие изменения усилий, действующих на батареи в процессе преодоления препятствия: *а* — культиватора ДЛКН-6/8; *б* — культиватора КЛБ-1,7; *в* — культиватора, снабженного многос шарнирным предохранительным механизмом.

Как видно из рисунка, процесс преодоления препятствия культиваторами разных типов можно разбить на три характерных этапа: удар батареи о препятствие; подъем рабочих органов вверх по препятствию; опускание батареи вниз после переезда через препятствие и заглубление рабочих органов в почву.

На первом этапе, продолжительность которого составляет 0,01—0,05 с, во всех трех случаях наблюдается резкий всплеск усилия, действующего на батарею. Наличие предохранительного механизма не избавляет культиватор от ударных нагрузок, так как вследствие своей инерционности предохранитель не успевает сработать за такой короткий промежуток времени. При этом ударные нагрузки во всех вариантах опыта примерно одинаковы и несколько превышают средние усилия, действующие на рабочие органы со стороны почвенного слоя при обычной работе культиватора до встречи с пнем. Указанное превышение ударной нагрузки  $P_{уд}$  над рабочим усилием  $P$  зависит, как видно из графика на рис. 2, от скорости перемещения агрегата. При увеличении скорости от 2,1 до

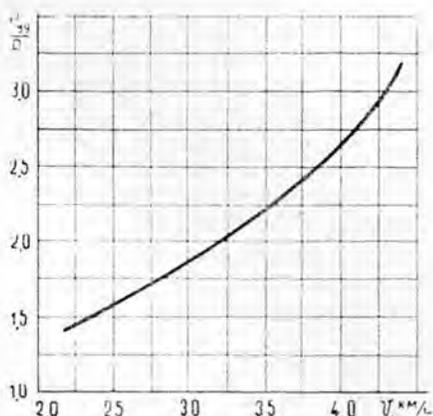


Рис. 2.

4,3 км/ч соотношение  $\frac{P_{уд}}{P}$  увеличивается от 1,5 до 3. Культиваторные агрегаты на нераскорчеванных вырубках чаще всего работают со скоростью около 3 км/ч, поэтому можно считать, что в момент встречи с препятствием культиватор испытывает в среднем двукратные перегрузки. Такие перегрузки обычно учитываются в конструкции культиваторов и не представляют особой опасности.

На втором этапе по мере продвижения культиватора вперед давление рабочих органов на препятствие растет и соответственно увеличиваются значения реактивных сил, действующих на дисковую батарею со стороны препятствия. При этом резкое увеличение динамических нагрузок испытывает жестко закрепленная на раме батарея дискового культиватора ДЛКН-6/8. К моменту подъема всего культиватора в самое верхнее положение, то есть на поверхность пня (что достигается в результате накатывания дисков на пень и возможно лишь при плавающим положении гидросистемы механизма навески), нагрузка на батарею культиватора ДЛКН-6/8 возрастает в 10—12 раз по сравнению с нагрузкой, испытываемой до наезда на препятствие.

Предохранительное устройство обеспечивает некоторое уменьшение динамических нагрузок на данном этапе, так как шарнирно закрепленная батарея отклоняется назад и вверх относительно остова культиватора под действием реактивных сил. Однако по мере отклонения батареи растет сила натяжения пружин, которые при обычной работе культиватора удерживают рабочие органы на заданной глубине, а при наезде на препятствие прижимают батарею к поверхности пня. Максимальное значение этой силы зависит, как видно из рис. 1, от конструкции предохранительного механизма. В то время как при срабатывании одношарнирного предохранителя культиватора КЛБ-1,7 нагрузка на батарею увеличивается в 8—10 раз, у культиватора с четырехзвенным предохранительным механизмом наблюдается лишь четырехкратное увеличение нагрузки.

Указанные перегрузки на втором этапе работы культиватора при жестком креплении батареи ведут к соответствующему росту напряжений в стойках и других деталях культиватора и снижают их надеж-

ность. При шарнирном же креплении перегрузка уравнивается усилиями натяжения пружин и не представляет большой опасности для конструкции.

В период схода батареи с препятствия (третий этап) нагрузка на батарею уменьшается от максимального до обычного рабочего значения. При этом характер уменьшения нагрузки также в большой степени зависит от способа крепления батареи и конструкции предохранительного устройства.

У культиватора ДЛКН-6/8 нагрузка вначале почти мгновенно уменьшается до нуля, так как диски отрываются от вершины пня и в течение определенного промежутка времени совсем не контактируют с поверхностью препятствия и обрабатываемым слоем почвы. В это время культиватор падает вниз под действием собственного веса. Затем диски входят в почву, и нагрузка постепенно увеличивается до первоначального значения.

При сходе с пня культиватора КЛБ-1,7 также наблюдается отрыв дисков от поверхности препятствия, вследствие чего внешняя нагрузка исчезает, батарея под действием усилия натянутых пружин с большой скоростью устремляется вперед и вниз и ударяется об ограничивающие упоры на раме культиватора или об очередное препятствие, а затем уже заглубляется в почву. В момент удара об упоры наблюдается резкий всплеск нагрузки (рис. 1, б). Почти мгновенно нагрузка оказывается в 1,5—2 раза больше, чем в момент наезда на препятствие, что нередко ведет к поломкам узлов и деталей батареи. Чаще всего происходит деформация и выкрашивание дисков, изгиб квадратного вала батареи, разрушение распорных катушек.

Наиболее благоприятная картина уменьшения нагрузки на третьем этапе движения батареи через препятствие наблюдается у экспериментального культиватора с четырехзвенным предохранительным механизмом. Звенья этого механизма имеют параметры, обеспечивающие движение батареи вниз после преодоления вершины препятствия по почти отвесной траектории, вследствие чего диски находятся в постоянном контакте с препятствием, то есть фактически скатываются по нему. Препятствие оказывает на батарею тормозящее воздействие и поэтому пружины, возвращающие батарею в исходное положение, не сообщают ей большой скорости, нагрузка на батарею снижается постепенно, повторный всплеск нагрузки отсутствует. Подобный режим изменения нагрузки исключает поломку деталей культиватора.

Таким образом, применение на лесном дисковом культиваторе четырехзвенного пружинного предохранительного механизма позволяет резко улучшить условия нагружения элементов конструкции, повысить надежность и долговечность машины.

Поступила 23 сентября 1974 г.

УДК 634.0.181.8

## ПРИМЕНЕНИЕ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО ДЛЯ ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

В. Г. ВЕРЧЕНКО

Воронежский лесотехнический институт

Установлена зависимость энергии роста, продуктивности, качества формируемых стволов фенологических форм от условий произрастания. Продуктивность фенологических форм на склонах различной экспозиции тесно связана с активностью физиологических процессов.

Дуб черешчатый, обладающий очень ценными для условий степи и лесостепи свойствами (засухоустойчивость, долговечность, достаточная солевыносливость), по праву занял место главной породы в насаждениях различных защитных категорий.

Нашими исследованиями были охвачены овражно-балочные насаждения Каменной степи, созданные на землях, не пригодных для сельскохозяйственного пользования. Вопрос о продуктивности и качестве создаваемых здесь насаждений приобретает важное значение.

Рост и состояние дуба черешчатого нельзя рассматривать в отрыве от фенологических разновидностей, поэтому первым этапом всех работ было натурное обследование насаждений с целью выявления формового разнообразия дуба.

Для установления средних дат начала вегетации фенологические наблюдения за ходом листораспускания проводили методом периодического сплошного перечета распутившихся дубков. При разработке методики использовали методические указания В. И. Иванова [10], А. В. Тюрина [25], А. П. Шиманюка [27], А. Е. Котюкова [16] и др. В результате натурных обследований были отобраны наиболее характерные участки культур различного возраста с преобладанием дуба на склонах северной и южной экспозиций. Участки, взятые для исследования, созданы на слабо- и сильноэродированных смытых черноземах склонов по аналогичной технологии с идентичным уходом.

Так, культуры Хорольской балки (лесные полосы № 75—80 в возрасте 65—70 лет) закладывали по древесно-кустарниковому типу смешения (с 8-членной схемой) при следующем участии древесных пород: дуб — 25%, кустарники — 50%; прочие породы (ясень, ильмовые, липа, клен) — 25%. Все древесные породы высаживали по сплошь обработанной почве 1—2-летними сеянцами с размещением посадочных мест  $1,4 \times 0,7$  м.

Лесокультурные уходы продолжали до момента смыкания кроны (5—6 лет). Первые осветления проводили в 10—11-летних культурах, последующие — через 6—7 и 5—6 лет. В культурах 25—30 лет и старше уход носил характер санитарных рубок.

Молодые культуры (лесные полосы № 175, литер 1, 6—13 лет) созданы однорядным строчно-луночным посевом желудей по частично обработанной почве (1,5-метровыми полосами). Размещение посевных мест —  $3 \times 0,5$  м. Лесокультурный уход проводили лишь за обра-

ботанными полосами. Междуядья в несомкнувшихся до настоящего времени культурах заняты многочисленными представителями степной растительности. Лесоводственных уходов не было.

Рост и состояние описанных культур исследовали путем закладки пробных площадей общепринятыми лесоводственно-таксационными методами.

В результате фенологических наблюдений удалось установить, что в составе овражно-балочных культур Каменной степи встречаются две разновидности дуба: рано- и позднораспускающийся. Процесс раскрытия почек дуба в годы исследования в среднем продолжался 32 дня с разрывом между максимумами листораспускания ранней и поздней разновидностей до 22 дней, что подтверждает результаты других исследователей [4], [7], [9].

Начало вегетации ранней разновидности в годы наблюдения приходится на вторую декаду апреля, а массового листораспускания — на конец третьей декады апреля. Аналогичные фазы у позднего дуба приходятся на конец первой — вторую декады мая. Учитывая, что средняя многолетняя дата поздневесенних заморозков в условиях Каменной степи приходится на 5 мая, можно сказать, что пагубному воздействию весенних заморозков в наибольшей степени подвержена ранняя разновидность дуба. На эту особенность раннего дуба указывали многие исследователи [7], [9], [14], [15], [24]. Менее устойчива эта разновидность дуба и против «весенних» вредителей [2], [3], [17], [23].

Учет повреждений фенологических разновидностей зеленой дубовой листоверткой в 1973 г. показал, что в наибольшей степени от нее страдает ранний дуб (до 62—70% против 4—10%), сроки листораспускания которого чаще, чем у позднего, совпадают с вредящей фазой листогрызущих. Фенологические наблюдения 1972—1973 гг. за осенней окраской листьев раннего и позднего дуба показали, что начало и конец пожелтения у обеих разновидностей совпадают. Следовательно, при более позднем начале листораспускания (на 22 дня) и одновременном осеннем пожелтении поздний дуб имеет более короткий период вегетации.

Однако величина годичного прироста определяется не только продолжительностью вегетации, но и энергией роста, а также способностью к образованию летних побегов, что тесно связано с условиями произрастания, погодными факторами и т. д. [4], [5], [7], [11], [13], [18], [26].

В результате наблюдений 1972—1974 гг. за 13-летними культурами на склонах северной и южной экспозиций удалось установить, что в данных условиях обе разновидности дуба проявляют способность к формированию летних побегов, причем ранний дуб в большей степени. В годы благоприятные для роста дуба (1974 г.), эту способность проявляло большее количество дубков (в среднем 53% у ранней, 41% у поздней), чем в годы с крайне неблагоприятными погодными условиями (1972 г. — соответственно 28 и 21%). В пределах одного вегетационного периода более высокая способность к формированию летних побегов наблюдалась у дубков на склоне северной экспозиции (на 7% у ранней и на 11% у поздней — в среднем за 1972—1974 гг.). С экспозицией склона связана и энергия роста фенологических разновидностей.

На теневых склонах более высокие показатели отмечены у преобладающей здесь поздней разновидности. Анализ хода роста по высоте 13-летних культур показал, что преимущество по отношению к ранней

разновидности в первые годы достигает 23—24%, затем несколько уменьшается (до 7—15%) и в возрасте 12—13 лет увеличивается вновь до 16—19%.

На склоне южной экспозиции до 7-летнего возраста дуба можно наблюдать преимущество то одной, то другой разновидности. В последующие годы (с 8 до 13 лет) более высокие показатели энергии роста в высоту (до 14%) имеет преобладающая в этих условиях ранняя разновидность.

Аналогичная зависимость проявляется и в росте по диаметру, лишь с более выраженным преимуществом. Указанное соотношение в энергии роста фенологических разновидностей в зависимости от экспозиции склона с возрастом сохраняется. Так, на склоне северной экспозиции в возрасте 75 лет более продуктивными (на 16—40%) оказались культуры с преобладанием поздней разновидности. На инсолируемых склонах преимущество в продуктивности имеет то ранняя, поздняя разновидность, почти в равной степени (10% против 15%). Приуроченность той или иной разновидности к определенным экспозициям склонов связана с биологией дуба, на что неоднократно указывалось в литературе [6], [9], [11], [12], [15], [19—22], [26].

В условиях овражно-балочных насаждений некоторый интерес представляет и качественная характеристика фенологических разновидностей.

Более ценными свойствами независимо от условий произрастания отличаются стволы позднего дуба. Так, например, на склоне северной экспозиции, при наибольшей высоте очищения стволов от мертвых сучьев и прикрепления основной кроны, до 79% деревьев позднего дуба формируют нормальную и узкую крону, что на 36% больше, чем у раннего. Количество прямоствольных экземпляров достигает здесь 56%, в то время как у ранней разновидности не превышает 34%. У позднего дуба почти отсутствуют стволы с несколькими дефектами; у раннего (из-за частых повреждений заморозками, листогрызущими вредителями, снеголомом) они составляют 12—17%. В связи с этим у ранней разновидности заметно снижается (на 14—21%) выход деловой древесины.

Наши данные о лучшем качестве стволов позднего дуба совпадают с результатами, полученными другими исследователями [1], [5], [8], [9], [14], [20], [24].

Физиологические исследования показали, что высокая энергия роста позднего дуба в условиях теневых склонов обуславливается повышенной активностью ряда физиологических процессов. Так, преимущество по концентрации хлорофилла в среднем за период вегетации до 17% способствует повышению интенсивности фотосинтеза на 9%. При несколько большем (на 3—5%) содержании свободной воды в листьях и повышенной (на 6—10%) активности каталазы интенсивность дыхания у поздней разновидности на теневом склоне на 8—23% выше, чем у ранней.

С повышенной физиологической активностью поздней разновидности, видимо, связана и ее биологическая устойчивость. В результате 3-летних наблюдений за процессом усыхания фенологических разновидностей дуба, вызванного суровой зимой 1968/69 г. и крайне засушливым летом 1972 г., было установлено, что в идентичных условиях в меньшей степени этому процессу подвержена поздняя разновидность. Количество деревьев с признаками усыхания у нее в среднем на 29—53% меньше, чем у ранней. При этом в пределах одной фенологической разновидности число деревьев с признаками усыхания на различных вариантах склонов южных экспозиций в среднем на 23% больше, чем на теневых.

В результате проведенных исследований овражно-балочных культур дуба различного возраста установлено, что биологическая устойчивость, энергия роста, продуктивность и качество стволов ранней и поздней разновидностей дуба связаны с экспозицией склонов.

Благодаря своим биологическим особенностям (меньшая подверженность влиянию неблагоприятных факторов и высокая активность физиологических процессов), поздняя разновидность в условиях овражно-балочных насаждений отличается более высокой устойчивостью, энергией роста, производительностью и качеством выращиваемой древесины. Поэтому при создании культур дуба на теневых склонах предпочтительна именно эта разновидность.

На разнообразных вариантах инсолируемых склонов более целесообразны культуры ранней разновидности с обязательной примесью к ней до 30—50% позднего дуба.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вересин М. М. Селекционный отбор быстрорастущих форм древесных пород при лесовыращивании. — Научн. зап. ВЛХИ, т. 9, 1946. [2]. Губанов А. Я. О дубе черешчатом позднораспускающейся формы в Туравском лесхозе. — Сб. научн. тр. АН БССР, 1953. [3]. Гурьев Д. Г. Фенологические формы дуба устойчивые к поражению листогрызущими вредителями. — «Лесное хозяйство», 1971, № 12. [4]. Енькова Е. И. Селекция дуба черешчатого в ЦЧП. — В сб.: Лесная генетика, селекция и семеноводство. Петрозаводск, «Карелия», 1970. [5]. Енькова Е. И. Климатические экотипы дуба. — Научн. зап. ВЛХИ, т. 9, 1946. [6]. Енькова Е. И. Территориальное размещение рано- и позднораспускающихся форм дуба. — Доклады АН СССР, нов. сер., т. 74, № 1, М., 1950. [7]. Енькова Е. И. Влияние поздних весенних заморозков на прирост дуба в высоту. — «Лесное хозяйство», 1951, № 12. [8]. Енькова Е. И., Ефимов Ю. П., Ширнин В. К. Влияние фенологических форм дуба на качество дубрав. — «Лесное хозяйство», 1967, № 6. [9]. Ефимов Ю. П. Фенологические формы дуба черешчатого в условиях Центральной лесостепи и их лесохозяйственное значение. Дис. на соиск. учен. степени канд. сельскохозяйств. наук. Воронеж, 1967. [10]. Иванов В. И. Фенологические наблюдения в насаждениях. — «Труды по лесному опытному делу в России», вып. 51, 1914. [11]. Иванова Н. Е. Рост дубовых молодяков на темно-серых лесных суглинистых почвах нагорных дубрав лесостепи. М., изд-во АН СССР, 1953. [12]. Карандина С. Н. Некоторые эколого-биологические различия ранней и поздней рас дуба. — «Учен. зап. ЛГУ», 1951, № 143, сер. биол. наук, вып. 30. [13]. Карандина С. Н. Рост и развитие дуба в падинах западного Казахстана. М., «Наука», М., 1966. [14]. Кобранов Н. П. Селекция дуба. М., «Новая деревня», 1925. [15]. Колесников А. И. Про роси дуба звичайного (*Q. robur*) та їх селекцію. — «Вісти Харк. сільгосп. інст. ім. Сельтерну», № 10. Харків, 1928. [16]. Котюков А. Е. Как отличить рано- и позднораспускающиеся формы дуба. — «Лесное хозяйство», 1960, № 3. [17]. Курдиани С. З., Ильинский А. П. Из биологии летнего дуба (к вопросу о селекции дуба). — «Сельское хозяйство и лесоустройство», март, 1915. [18]. Ланге В. Я. Исследование биологии и хода роста рано- и позднораспускающегося дуба на территории Латвийской ССР. — Тр. Лат. СХА, вып. 5, 1956. [19]. Лукьянец В. Б. Особенности роста и качества деревьев ранней и поздней форм дуба. — В сб.: Вопросы повышения продуктивности лесного хозяйства. Воронеж, 1963. [20]. Лукьянец В. Б., Кондратьев Н. П. Использование ранней и поздней форм дуба при выращивании культур в различных местоположениях. — Сб. работ по лесному хозяйству, изд-во Воронежского гос. универс., 1959. [21]. Мачинский А. С. О расах дуба. — «Лесоведение и лесоводство. Лесное хозяйство, лесная промышленность и топливо», 1927, № 1, (приложение). [22]. Михайлов Н. И. К вопросу о распространении позднего и раннего дуба в связи с почвенно-грунтовыми условиями. — «Лесной журнал», вып. 2—3, 1939. [23]. Моравская А. С. Степень устойчивости ранней и поздней форм дуба против насекомых. — В сб.: Молодые лесоводы к 40-летию Великого Октября. М., 1957. [24]. Суханова И. В. Некоторые биологические и лесоводственные особенности ранней и поздней рас дуба черешчатого в Каменной степи. Автореф. на соиск. учен. степени канд. сельскохозяйств. наук. М., 1958. [25]. Тюрин А. В. Фенологические наблюдения в лесах СССР и их лесохозяйственное использование. — «Лесное хозяйство», 1950, № 6. [26]. Харитонович Ф. Н. Сезонный прирост ранораспускающегося и позднораспускающегося дуба. — Труды по лесному опытному делу Украины, вып. XV, X, 1930. [27]. Шиманюк А. П. Методика и программа основных фенологических наблюдений. М., 1938.

УДК 631.524

## КУЛЬТУРЫ СОСНЫ МУРРЕЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

В. И. БИРЮКОВ, В. А. МАЗУР

Брянский технологический институт

Рассмотрен вопрос об изучении опыта внедрения сосны Муррея в культуры Лесостепной опытно-селекционной станции Липецкой области и Моховского лесничества Орловской области. Выявлены успешность акклиматизации, быстрота роста, устойчивость против неблагоприятных факторов среды и физико-механические свойства древесины. Сделана оценка этой породы и даны рекомендации для внедрения.

В последние годы в странах Западной Европы, особенно в Швеции, все большее внимание уделяют интродукции североамериканской сосны Муррея. Там эта порода [3] растет значительно быстрее, чем местные сосна и ель, обеспечивая ежегодный прирост древесины до 6,5—8,5 м<sup>3</sup>/га, то есть на 50—60% больше.

В нашей стране сосна Муррея встречается редко, на небольших площадях или в одиночных посадках. Для изучения ее особенностей и качеств мы провели исследование в Лесостепной опытно-селекционной станции (ЛОСС) Липецкой области и в Моховском лесничестве Орловской области, результаты которых показали, что на выщелоченном черноземе в условиях засушливого плато дендрария ЛОСС (тип условий местопроизрастания D<sub>1-2</sub>) к возрасту 43 лет она достигла высоты всего лишь 11,9 м, среднего диаметра 17,0 см. В условиях же лучшего увлажнения на оподзоленном суглинке северо-западного склона балки (D<sub>2</sub>) сосна Муррея в возрасте 23 лет имела среднюю высоту 9,8 м и средний диаметр 17,4 см. Одновозрастная сосна обыкновенная здесь достигала высоты 9,6 м [2]. В условиях удовлетворительно увлажненных почв центральной лесостепи сосна Муррея до 20-летнего возраста растет быстрее сосны обыкновенной; на сухих почвах—почти в два раза медленнее, что свидетельствует о ее значительном влаголюбии.

Таблица 1

Возраст, лет	Сосна Муррея		Сосна обыкновенная	
	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Средний диаметр, см
5	2,6	1,9	2,1	1,3
10	6,1	7,3	5,4	7,4
15	9,9	9,6	8,9	11,7
20	11,6	10,9	12,3	13,9
25	14,7	12,2	15,5	16,4
30	16,3	13,3	18,7	17,9
33	17,5	13,8	20,7	18,5

Эти выводы подтверждаются другими данными наших исследований в Моховском лесничестве (табл. 1). Однако на выщелоченном черноземе в условиях свежей дубравы (D<sub>2</sub>) сосна Муррея лишь до

20-летнего возраста не отстает в росте от сосны обыкновенной, а затем приросты ее в высоту и особенно по диаметру заметно сокращаются.

Цветение сосны Муррея, по данным фенологических наблюдений 1970—1974 гг., начинается в среднем с 25 мая, а семена созревают в середине сентября. Плодоносит с 12 лет. Дает хороший самосев, что свидетельствует о ее полной акклиматизации. Декоративна. Не повреждается ни засухами, ни низкими температурами, но в отдельные суровые зимы наблюдается покраснение хвои. Достаточно теневынослива. Образует более полндревесные стволы, чем сосна обыкновенная. Устойчива против грибных заболеваний; повреждений насекомыми-вредителями не отмечалось.

Наряду с изучением роста, степени акклиматизации и устойчивости против неблагоприятных факторов среды, мы исследовали физико-механические свойства древесины сосны Муррея и для сравнительной оценки — сосны обыкновенной и лиственницы сибирской. Модельные деревья брали в 33-летних культурах всех пород в Моховском лесничестве. Заготовку образцов и физико-механические испытания древесины производили в соответствии с ГОСТами.

Таблица 2

Показатели	Сосна Муррея	Сосна обыкновенная	Лиственница сибирская
Количество годичных слоев в 1 см	4,11	3,15	3,4
Процент поздней древесины	32,7	24,6	30,6
Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	0,53±0,01	0,44±0,01	0,63±0,01
Сопротивление сжатию вдоль волокон, кгс/см <sup>2</sup>	373,6±7,4	315,7±7,1	464,2±9,5
Сопротивление статическому изгибу, кгс/см <sup>2</sup>	625,6±28,6	519,2±25,1	994,6±34,4
Статическая твердость, кгс/см <sup>2</sup>			
торцевая	255,9±4,0	194,2±6,5	569,4±11,0
тангенциальная	204,2±4,4	122,0±5,6	—
радиальная	198,9±7,2	143,1±5,8	—

Полученные результаты (табл. 2) показывают, что древесина сосны Муррея обладает лучшими физико-механическими свойствами, чем древесина сосны обыкновенной, но значительно уступает древесине лиственницы сибирской, выращенной в тех же условиях [1].

Все изложенное дает основание заключить, что сосна Муррея в условиях центральной лесостепи может быть рекомендована для внедрения в зеленое строительство, для создания защитных насаждений на склонах балок со свежими и влажными почвами.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бирюков В. И. Физико-механические свойства древесины лиственницы сибирской, выращенной на черноземах. — В сб.: Лиственница, т. III. Красноярск, 1968.  
 [2]. Вехов Н. К., Вехов В. Н. Хвойные породы Лесостепной станции. М., изд. Минкомхоза РСФСР, 1962. [3]. Ерохина Л. И. Разведение сосны Муррея в Швеции. Реферат. ЦБНТИлесхоз, 15, 1972.

Поступила 10 марта 1975 г.

УДК 634.0.5 : 634.0.44

**СПЕЦИФИКА РОСТА ЧИСТЫХ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ,  
ПОДВЕРГШИХСЯ ПОВРЕЖДЕНИЮ КОРНЕВОЙ ГУБКой**

Д. Д. ЛАВРИНЕНКО

Украинская сельскохозяйственная академия

Показано, что в условиях свежей субори даже сравнительно слабое повреждение чистого сосняка корневой губкой существенно снижает накопление в нем запаса. Поэтому в свежих и влажных суборах и судубравах рекомендуется создавать смешанные с дубом, в крайнем случае с березой, сосновые насаждения, даже если они в молодости будут менее продуктивны.

В настоящее время на значительных площадях в Полесье и Лесостепи молодые сосновые насаждения, в основном культуры, повреждаются корневой губкой. Особенно страдают чистые сосновые культуры на старопахотных землях.

В лесоводственной литературе достаточно сведений о сильном повреждении насаждений корневой губкой, которое приводит иногда к полному расстройству насаждений и необходимости сплошной санитарной рубки. Менее освещен вопрос о снижении продуктивности в результате слабого поражения корневой губкой. Такие участки даже не фиксируют и в них не проводят никаких оздоровительных мероприятий.

Определенную ценность представляют исследования на постоянных пробных площадях, заложенных в 1953 г. Институтом леса АН УССР в Дымерском лесхоззаге Киевской области. Здесь в Каменском, Шевченковском и Днепровском лесничествах в свежих суборах в 30—50-летних насаждениях разного состава (чистых сосновых, сосново-березово-дубовых, сосново-дубовых, чистых дубовых и чистых березовых) был заложен ряд площадей, на которых в течение 1953—1956 гг. велись стационарные исследования по изучению влияния этих насаждений на почву. Таксация насаждений была проведена: первая — в 1953 г., вторая — в 1957 г. [2]. В 1972 г. студентом-дипломником В. А. Шереметом под руководством автора статьи были обследованы пробные площади в Каменском лесничестве, в том числе проба (стационар 3), заложенная в чистой сосновой культуре в 1923 г. Сопоставление данных трех таксационных учетов дает возможность показать специфику роста исследуемых насаждений.

Как и на всех пробных площадях в Каменском лесничестве, в рассматриваемой культуре почва дерново-подзолистая легкосупесчаная, подстилаемая суглинистой мореной на глубине 70—120 см (тип лесорастительных условий ВС<sub>2</sub>). Культура создана на преемственно лесной площади, не бывшей длительное время под сельскохозяйственным использованием.

В культуре 30 лет еще не было заметно каких-либо повреждений корневой губкой. Характерно, что в близких по возрасту 38—39-летних чистых сосновых культурах в богатой свежей субори, но на старопахоти в Шевченковском лесничестве (стационары 9 и 12) уже были окна, об-

разовавшиеся в результате повреждения корневой губкой. Правда, в культуре в Каменском лесничестве было ненормально большое количество деревьев подчиненной части (44%), что, видимо, обуславливалось весьма интенсивным ростом насаждения и относительно благоприятными (не засушливыми) условиями последних лет. В последующие четыре года, после суровой зимы 1953/54 г., а затем засухи, произошел значительный отпад ослабленных деревьев в культуре (по таксации 1957 г., количество деревьев подчиненной части составляло всего 19%); однако следов повреждения корневой губкой еще не было видно. Дальнейшее заселение почвы корневой губкой вызвало усыхание сосен группами, в результате чего появились окна. Насаждения были повреждены незначительно, очаги скоро прекратили свой рост, и к 50 годам санитарное состояние насаждений было удовлетворительным, хотя никаких специальных оздоровительных мероприятий в нем не проводили.

Однако даже такое сравнительно слабое повреждение насаждения корневой губкой существенно снизило накопление запаса. В самом деле, если в 30 лет рассматриваемая культура отличалась хорошим приростом, то к 50 годам продуктивность заметно снизилась (табл. 1, чистая сосновая культура в Каменском лесничестве, стационар 3).

Таблица 1

Год проведения таксации	Возраст насаждения, лет	Порода	Количество деревьев на 1 га	Средние		Запас стволовой древесины, м/га	Средний прирост, м/га
				диаметр, см	высота, м		
1953	30	Сосна	2046	15,4	16,2	313,6	
		Дуб	165	10,8	12,4	9,1	
		Береза	4	18,0	16,8	0,7	
		Итого	2215			323,4	
1957	34	Сосна	1496	17,7	18,3	339,0	
		Дуб	104	12,8	14,5	9,1	
		Береза	4	20,0	18,8	1,0	
		Итого	1604			344,1	
1972	49	Сосна	916	22,5	22,9	354,6	
		Дуб	88	14,5	14,8	9,4	
		Береза	4	24,0	20,8	1,5	
		Итого	1008			365,5	

Характерно, что если даже за период с 1953 г. по 1957 г., когда сосна прореагировала на суровую зиму и засуху повышенным отпадом (137 деревьев на 1 га — 7,8% в год), текущий прирост по запасу на пробе составлял 4,0 м<sup>3</sup>/га, то за последующие 15 лет, когда ежегодный отпад сосны в среднем составил 39 деревьев на 1 га (3,3%), текущий прирост запаса на пробе оказался уже 2,2 м<sup>3</sup>/га.

Такая реакция чистых сосняков на повреждение корневой губкой заставляет с большой осторожностью относиться к выводам о рациональности создания чистых сосновых культур в борах и суборах. Это хорошо иллюстрируется сопоставлением продуктивности разных по составу насаждений Каменского лесничества. Если в 1953 г. 30-летняя сосновая культура была почти в два раза продуктивнее близкого по возрасту березово-дубово-соснового насаждения, то в 49 лет увеличение среднего прироста данной культуры уже меньше — только в 1,5 раза (табл. 2). Характерно, что более старое (на 18 лет) сосново-дубовое

Таблица 2

№ стационара	Состав насаждения	Возраст насаждения, лет	Запас стволовой древесины		Средний прирост	
			м³/га	%	м³/га	%
1	5БЗД2С	34	207	67	6,1	56
		53	282	77	5,3	72
2	7ДЗС	48	266	82	5,4	50
		67	395	108	5,9	80
3	10С+Д	30	324	100	10,8	100
		49	365	100	7,4	100
4	10Д пор	49	214	69	4,2	39
		68	321	83	4,7	66

Примечание. В числителе данные таксации в 1953 г.; в знаменателе — в 1972 г.

насаждение с преобладанием дуба, продуктивность которого в 1953 г. была в 2 раза ниже, чем у 30-летней чистой сосновой культуры, в 1972 г. выглядит заметно выгоднее.

Сравнение средних размеров сосны в 1953 г. и в 1972 г. (табл. 3) показывает, что в смешанном с березой и дубом (стационар 1) насаждении за период с 30 до 50 лет прирост сосны несколько выше по высоте и особенно по диаметру, чем в чистой сосновой культуре (стационар 3).

Таблица 3

№ стационара	Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Прирост	
				по диаметру, см	по высоте, м
1	34	15,0	15,0	10,9	8,2
	53	25,9	23,2		
3	30	15,4	16,2	7,1	6,7
	49	22,5	22,9		

Примечание. В числителе данные таксации в 1953 г.; в знаменателе — в 1972 г.

Из изложенного следует, что даже если нет особых оснований предполагать поражение корневой губкой, следует создавать не чистые сосняки, а смешанные (в свежих и влажных богатых суборах и судубравах — с дубом, а в свежих и влажных борах и бедных суборах — с березой). Как показали исследования [1—4], участие сосны по запасу в средневозрастных насаждениях и старше должно быть около 80% в суборах и 70—80% в судубравах. Такие насаждения биологически устойчивы, хорошо влияют на почву и высокопродуктивны.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бабенко В. В. Эффективность использования среды чистыми и смешанными насаждениями в свежих суборах и сугрудках Полесья и Северной Лесостепи Украинской ССР. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. сельскохозяйств. наук. Киев, 1971. [2]. Лавриненко Д. Д. Наукові основи підвищення продуктивності лісів Полісся Української РСР. Київ, вид. УАСГН, 1960. [3]. Лавриненко Д. Д. Взаємодія

древесных пород в различных типах леса. М., «Лесная промышленность», 1965. [4].  
 Лебедев В. Е. Оценка производительности смешанных насаждений. — «Лесное хозяйство», 1973, № 3.

Поступила 6 декабря 1973 г.

УДК 595.782—11

## ОБ АТТРАКТИВНОСТИ САМОК ЧЕХЛИКОВОЙ МОЛИ *Coleophora sibirica* Falk. ДЛЯ САМЦОВ

А. К. МИНЯЙЛО, В. А. МИНЯЙЛО

Новосибирский сельскохозяйственный институт  
 Биологический институт СО АН СССР

На примере использования клеевых ловушек продемонстрировано, что самки листовенничной чехликовой моли выделяют половой феромон, привлекающий самцов. Показана зависимость привлекательности самок от их возраста, времени суток и других факторов.

Существование половых феромонов доказано для нескольких сотен видов насекомых\*, но, возможно, они используются гораздо большим числом. Нами обнаружен половой феромон с аттрактивными свойствами у листовенничной чехликовой моли *Coleophora sibirica* Falk. У представителей семейства чехлоносок половые феромоны до этого не были известны.

Работа выполнена в 1971—1972 гг. в Чингисском лесхозе (Ордынский район Новосибирской области). Чехлики с гусеницами моли незадолго до окукливания или с куколками собирали в природе и содержали по одному в пробирках. Вышедших бабочек женского пола помещали в садочки из латунной сетки в ловушки. Ловушка обычно представляла смазанный сверху невысыхающим клеем прямоугольник из картона с двухскатной «крышей» из полиэтиленовой пленки (тип 1). Испытаны также ловушки с непрозрачным верхом из картона (тип 2). Ловушки вывешивали на ветвях деревьев на высоте около 1,5 м от земли.

Наблюдения за ловушками, вывешенными в культурах листовенницы, показали, что половой феромон выделяют только девственные самки листовенничной чехлоноски. Он привлекает самцов, а для самок неаттрактивен. Самцы не обладают привлекательностью ни для самок, ни для других самцов (табл. 1).

Самцы летят в ловушки к самкам с 19—20 до 8—9 ч., а в пасмурную погоду в небольшом числе вплоть до 11 ч.

В небольшом количестве самцы попадали в ловушки и без соответствующей приманки. Самки в ловушки вообще не попадали. Это обусловлено большей подвижностью самцов по сравнению с самками. Отлов бабочек на лету показал, что летают в основном самцы. Они разыскивают самок, ориентируясь с помощью обоняния на феромон, выделяемый самками. Самки, выделяющие феромон, сидят в особой, «призывной» позе: крылья слегка расставлены, брюшко выступает над ними.

\* Скиркявичюс А., Вайткявичене Г. Насекомые, имеющие половые феромоны. Биология вредителей растений и меры борьбы с ними. — «Acta entomologica Lituonica», 1. Вильнюс, 1970.

Таблица 1

Приманка	Тип ловушки	Количество ловушек	Средний улов в одну ловушку за 5 суток	
			самцов	самок
Девственная самка	1	25	246,3	0
Девственная самка	2	5	7,0	0
Спаривавшаяся самка	1	5	4,2	0
Неспаривавшийся самец	1	14	3,1	0
Без приманки (контроль)	1	5	2,8	0

Самки начинают привлекать самцов в первые сутки после выхода из куколок, максимум привлечения приходится на вторые—третьи сутки, затем аттрактивность постепенно снижается, исчезая к концу жизни (рис. 1).

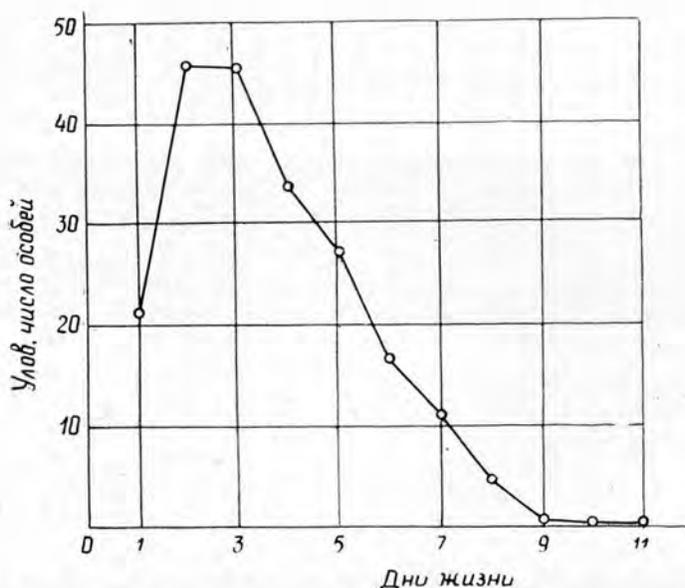


Рис. 1. Привлекательность самок разного возраста для самцов (по наблюдениям за 45 ловушками с одной девственной самкой в каждой).

Привлекательность имеет большую индивидуальную изменчивость. По наблюдениям за 25 ловушками, одна самка привлекала в течение жизни в среднем  $308,8 \pm 41,6$  самца, колебания составляли от 23 до 808 самцов. Различался также ход выделения феромона самками в течение жизни и суток (табл. 2 и 3). Сроки, когда самки проявляли максимальную аттрактивность, были неодинаковы: одни самки интенсивно выделяли феромон в течение длительного времени, другие — недолго, у некоторых самок наблюдались перерывы в выделении феромона и т. п.

На улов самцов чехлоноски оказывают влияние такие факторы внешней среды, как температура и дождь. При температуре ниже  $10^{\circ}\text{C}$  лёт почти прекращается. Во время дождя самцы также не летают, но с прекращением его лёт вскоре возобновляется.

Таблица 2

№ ловушки	Улов самцов по дням жизни самок											Продолжительность жизни самок, сутки	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		всего
3	84	212	113	167	54	20	2	0	—	—	—	652	8
6	0	1	0	19	5	1	0	—	—	—	—	26	7
8	41	0	0	0	5	0	1	1	0	—	—	48	9
9	109	0	4	4	14	10	75	44	2	0	—	252	10
11	37	112	122	99	166	160	41	64	4	0	3	808	13
16	5	1	121	36	110	77	48	22	4	9	7	440	15
40	1	83	88	92	56	111	2	0	—	—	—	433	8

Таблица 3

№ ловушки	Улов самцов в течение суток			
	с 21 на 22 июня		с 22 на 23 июня	
	19—2 ч.	2—11 ч.	19—2 ч.	2—11 ч.
3	36	48	109	103
9	74	35	0	0
10	1	10	0	29
11	31	6	32	80
14	91	14	49	19
15	8	10	18	49
19	1	0	0	14
20	121	40	0	0

Если потревожить самку, которая активно привлекает самцов, она может прервать на время выделение феромона.

«Непрозрачные» ловушки (тип 2) успешно используются для вылова разных насекомых на половые аттрактанты, и мы первоначально применили их в работе с листовенной чехлоноской. Однако с помощью этих ловушек не удалось показать даже существование феромона у чехлоноска. Самки в непрозрачных ловушках практически непривлекательны для самцов (табл. 1). Причины такого влияния конструкции ловушки на улов пока неясны.

Таблица 4

Количество самок в ловушке	Количество ловушек	Средний улов в одну ловушку за 4 суток	Коэффициент вариации, %
1	10	132,1	87,1
5	10	311,8	52,3
10	8	323,1	35,8
20	10	343,4	22,5

При помещении в ловушку нескольких самок не наблюдалось приращения улова, прямо пропорционального количеству самок (табл. 4). Сначала улов возрастал быстро, а затем, при наличии 5 и более самок в ловушке, его рост сильно замедлялся. Увеличение числа самок в ловушке вело к уменьшению коэффициента вариации улова вследствие нивелировки индивидуальных особенностей выделения феромона.

Предпринята попытка экстрагировать феромон из самок. Для этого девственных самок (целиком или только брюшко) растирали в растворителях (гексане, бензоле и диэтиловом эфире), твердые частицы от-

фильтровывали. Каждый экстракт на фильтровальной бумаге в количестве 80 эквивалентов самок помещали в ловушку. Экстракты не обнаружили активности.

В березняках у с. Чингис обычна чехлоноска *C. fuscedinella* Z.,\* близкая листовенничной. Она летает, как и листовенничная, в конце июня — начале июля. В ловушки с самками этого вида, вывешенные в березняке, за сутки попадало иногда более сотни самцов. Однако ловушки (20 шт.) с листовенничной чехлоноской, выставленные в березняке, не привлекали березовую чехликовую моль. Когда несколько ловушек с самками березовой чехлоноски повесили в посадке листовенницы, в них попадали самцы родственного вида, но в небольшом количестве (до 13 особей за ночь). По-видимому, феромоны этих двух чехлоносок неодинаковы.

Большая биологическая активность полового феромона листовенничной чехлоноски дает основания предполагать, что он может быть использован для надзора за этим вредителем листовенницы и для борьбы с ним.

Поступила 26 ноября 1973 г.

УДК 581.1

## ИЗОЛИРОВАННАЯ КУЛЬТУРА КОРНЕВЫХ ТКАНЕЙ БЕРЕЗЫ ПУШИСТОЙ (*Betula pubescens* Ehrh.)

Т. С. МОМОТ, А. А. ЯЦЕНКО-ХМЕЛЕВСКИЙ

Ленинградская лесотехническая академия

Исходным материалом для получения изолированной культуры корневых тканей березы были кончики корней проростков, выращиваемые на твердой питательной среде Мурасиге и Скуга. При культивировании на свету первичных и пассированных корневых каллусов обнаружена их способность к пигментации. Гидролизат казеина не является необходимым компонентом питательной среды для выращивания изолированных корневых тканей березы.

Культура изолированных корней и тканей — весьма удобная модельная система для изучения метаболических процессов в растениях.

Нами в 1970 г., одновременно с культурой изолированных корней сосны обыкновенной и ели европейской [1], [2], были получены их изолированные корневые ткани и проведены исследования по метаболизму в них аминокислот [3]. В 1973 г. была получена культура изолированных корней березы пушистой и в 1974 г. — изолированная культура корневых тканей *Betula pubescens* Ehrh.

Исходным материалом для получения корневых каллусов березы были корни стерильных проростков, от которых отрезали кончики длиной 5—10 мм и помещали в колбы с твердой питательной средой (по 40 мл в каждой). Для получения и выращивания изолированных корневых тканей использовали твердую питательную среду Мурасиге и Скуга [4] со следующими добавками: кинетин — 1,5 мг/л; 2,4-Д — 1 мг/л; пантотенат кальция — 5 мг/л; мезоинозит — 100 мг/л; гидролизат казеина — 100 мг/л; тиамин — 0,05 мг/л; пиридоксин — 0,1 мг/л; никотиновая кислота — 0,5 мг/л; сахароза (4%) — 40000 мг/л; агар-агар — 0,7%.

\* Определение И. А. Тибатиной.

Железо добавляли в форме хелата. Питательные среды стерилизовали в автоклавах при 1 атм в течение 20 мин.

Корневые каллусы выращивали в термостате при 23—24° в темноте и при 19—20° на свету (освещение люминесцентными лампами; интенсивность 2140 лк; 8 ч в день). Наблюдения за ростом каллусных тканей проводили еженедельно, а сырой и сухой вес тканей определяли через 1—1,5 месяца. Для оценки ростовых процессов высчитывали ростовой индекс РИ (отношение конечного веса ткани к весу исходному), а также содержание сухого вещества.

Каллусообразование изолированных корневых тканей березы началось через 2—3 недели после помещения кончиков корней на твердую питательную среду. Через 1,5 месяца сформированные корневые каллусы, выращиваемые на свету и в темноте, имели плотную, крупитчатую структуру, но по цвету заметно различались.

Первичные корневые каллусы, росшие в темноте, были обычно белого цвета с желтоватым оттенком. На поверхности ткани часто образовывались маленькие (около 2—4 мм в длину) белые, густо опушенные укороченные отростки. Корневые каллусы, выращиваемые на свету, были бело-зеленоватого цвета с ярко-малиновыми или темно-бордовыми пятнами, которые через два месяца роста покрывали почти всю поверхность ткани. Можно полагать, что эта пигментация объясняется образованием на свету антоцианов. Как на окрашенной части ткани, так и на зеленоватой через 1,5 месяца роста появлялись белые, густо опушенные отростки, то есть имело место аналогичное явление, наблюдавшееся у каллусов, растущих в темноте. Помимо первичных каллусов, были получены пассированные каллусы, у которых также наблюдалось пигментирование ткани и образование отростков.

Для пассирования брали 50 мг первичного каллуса и переносили его на свежую питательную среду того же состава. Через месяц пассированная ткань, выращиваемая в темноте и на свету, ничем не отличалась от первичных каллусов. Интенсивность роста первичных и пассированных тканей была почти одинаковой, что видно из данных табл. 1.

Таблица 1

Вариант опыта	Вес		РИ (по сырому весу)	Содержание сухого вещества, %
	сырой, г	сухой, мг		
Первичный корневой каллус	1,8383	145,2	—	12,6
Пассированный корневой каллус				
I пассаж	1,8105	135,0	36,2	13,4
II пассаж	1,7250	136,0	34,5	12,6

Примечание. Корневые каллусы выращивали на питательной среде без гидролизата казеина.

Таблица 2

Вариант опыта	Вес		Содержание сухого вещества, %
	сырой, г	сухой, мг	
Первичный корневой каллус	1,8752	151,2	12,4
	1,8502	160,3	11,5
Пассированный корневой каллус, I пассаж	1,8350	143,0	12,8
	1,8973	155,3	12,2

Примечание. В числителе данные для среды с гидролизатом казеина; в знаменателе — без гидролизата казеина.

Поскольку корневые каллусы березы могут быть использованы в качестве объектов для исследований метаболизма аминокислот, было важно исключить гидролизат казеина из питательной среды, на которой выращивались корневые ткани. Влияние гидролизата казеина на интенсивность роста корневых каллусов можно видеть из данных табл. 2. Полученные результаты показывают, что изолированные корневые ткани, как первичные, так и пассированные, можно успешно культивировать на средах, лишенных гидролизата казеина. Следовательно, гидролизат казеина не является необходимым компонентом среды для выращивания корневых каллусов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Момот Т. С. Культура изолированных корней как метод исследования в физиологии древесных растений. — Тезисы докладов III Уральского совещания по физиологии и экологии древесных растений. Уфа, 1970. [2]. Момот Т. С., Смирнов А. М., Яценко-Хмелевский А. А. Особенности роста изолированных корней ели европейской (*Picea abies* Karst.) в стерильных условиях. — Изв. АН СССР, сер. биол., 1972, № 5. [3]. Момот Т. С., Арман Л. А., Измайлов С. Ф., Смирнов А. М., Яценко-Хмелевский А. А. Биосинтез аминокислот в изолированных корнях и корневых каллусовых тканях ели европейской (*Picea abies* L. Karst.). — Изв. АН СССР, сер. биол., 1974, № 5. [4]. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol. plantarum*, 1962, v. 15.

Поступила 3 февраля 1975 г.

УДК 581.132 + 581.116

## ИНТЕНСИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА И ТРАНСПИРАЦИИ НЕКОТОРЫХ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД ПРИМОРЬЯ

В. Д. ЧЕРНЫШЕВ

Биолого-почвенный институт ДВНЦ АН СССР

Изучены фотосинтез и транспирация подроста и тонкомера кедра корейского, ели аянской, пихты белокорой и ясеня маньчжурского. Установлено, что в целом интенсивность транспирации хвой первого года выше, чем второго. Фотосинтез ярче выражен у хвой второго года. У ясеня интенсивность этих процессов в несколько раз выше, чем у хвойных, но их продолжительность значительно меньше.

В 1971 г. в Супутинском заповеднике (широколиственно-хвойные леса южного Приморья) с целью определения ритмов газо- и водообмена мы изучали интенсивность фотосинтеза и транспирацию подроста и тонкомера кедра корейского, ели аянской, пихты белокорой и ясеня маньчжурского, растущих на вырубке по юго-западному склону (7°) водораздела Миронова ключа с коренными типами из группы кленово-грабовых кедрово-еловых лесов.

Сведений по газообмену древесных видов Дальнего Востока в научной литературе очень мало [2], [8], [9]. Сравнительно недавно изучается и транспирация [5]. Между тем теоретический и практический интерес к физиологии древесных видов возрос в связи с расширением биогеоэкологических исследований в лесах Приморья.

Фотосинтез измеряли кондуктометрическим методом [1], транспирацию — методом быстрого взвешивания [4] отрезка побега с 1—2-летней хвоей или листа с помощью торзионных весов ВТ-1000. Измерения выполняли одновременно в сроки, рекомендуемые международной

Время суток, ч.	Средние		Интенсивность фотосинтеза Ф и транспирации					
	Q, ккал/(см <sup>2</sup> мин)	t, °C	f, %	Кедр корейский			Ель аянская	
				Ф	Т	Ф/Т·10 <sup>3</sup>	Ф	Т
8	0,27	9,4	99	1,20	198	6,06	1,70	164
				1,13	193	5,84	1,26	228
10	0,88	14,5	83	3,34	652	5,12	1,90	425
				2,58	543	4,75	2,59	282
12	1,26	18,7	56	2,94	922	3,19	3,46	435
				2,32	647	3,60	1,90	332
14	1,30	19,6	52	0,98	726	1,36	2,27	435
				2,80	487	5,74	2,30	276
16	1,00	19,2	58	2,13	726	2,93	2,01	391
				2,10	611	3,43	1,33	260
18	0,50	16,9	65	1,47	474	3,10	1,19	219
				1,12	276	4,06	1,15	181
20	0,01	13,5	83	-1,30	53	—	-1,23	43
				-1,05	33	—	-0,95	28

Примечание. В числителе данные для хвои первого года; в знаменателе —

биологической программой (МБП): 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 ч. местного времени. За период с мая по октябрь проведено по 16 измерений фотосинтеза и транспирации подроста при различных погодных условиях. Для анализа динамики фотосинтеза и транспирации непрерывно регистрировали температуру и влажность воздуха в тени (метеобудка) и суммарную солнечную радиацию с помощью пиранометра Янишевского в комплекте с самопишущим милливольтметром Н-39.

Общее представление о видовых особенностях дневной динамики газообмена и транспирации изучаемых древесных пород в зависимости от суммарной радиации  $Q$ , температуры  $t$  и относительной влажности  $f$  воздуха можно было получить только путем осреднения дискретных измерений процессов в течение мая—октября (табл. 1). Данные таблицы показывают, что у кедра корейского депрессия фотосинтеза и относительное понижение интенсивности транспирации соответствуют максимальным температуре, потоку лучистой энергии и минимальной влажности воздуха в 14 ч. В это же время дня соотношение фотосинтеза и транспирации по Коху [11] было минимальным, что указывает на неэффективный расход воды хвоей первого года при данной величине поглощения углекислоты. Сходная динамика у ели аянской, у которой в 14 ч также относительно снижается интенсивность фотосинтеза и транспирации, но минимальное соотношение этих процессов наблюдалось в 10 ч. Этот факт не случаен. Нами замечено, что в первой половине дня при погодных ситуациях, когда хвоя ели влажная и одновременно облучается прямой солнечной радиацией, резко понижалась интенсивность фотосинтеза за счет повышения интенсивности дыхания. Последнее, очевидно, связано с усилением нагрева влажного фотосинтетического аппарата ели. Соотношение фотосинтеза и транспирации у пихты белокорой было минимальным в 12 ч, что соответствует депрессии фотосинтеза в это время, а максимальные соотношения и интенсивность фотосинтеза наблюдались в 16 ч. По-видимому, такое «наруше-

Таблица 1

Т, мг на 1 г сухого веса в ч. и их соотношение Ф/Т·10<sup>3</sup>

Ф/Т · 10 <sup>3</sup>	Пихта белокорая			Ясень маньчжурский		
	Ф	Т	Ф/Т·10 <sup>3</sup>	Ф	Т	Ф/Т·10 <sup>3</sup>
10,36	0,34	141	2,41	4,17	842	4,95
5,52	1,80	218	8,24			
4,46	1,25	522	2,39	11,10	2570	4,32
9,18	1,80	339	5,31			
7,77	0,83	678	1,24	19,33	2847	6,77
5,71	2,43	409	5,94			
5,21	1,94	488	3,97	22,76	3020	7,50
8,33	2,43	377	6,43			
5,14	3,08	364	8,45	17,35	3580	4,84
5,11	1,36	325	4,18			
5,43	1,42	314	4,52	5,87	1427	4,12
6,34	-0,02	134	—			
—	-1,18	58	—	-14,00	233	—
—	-0,31	28	—			

второго.

ние» обычного для растений хода газообмена у пихты белокорой сопряжено с относительно высокой потерей воды в первой половине дня, по сравнению с елью аянской.

Иные, чем у хвойных видов, физиологические показатели у ясеня маньчжурского. В период максимальных значений метеофакторов соотношение фотосинтеза и транспирации также максимально, но пик транспирации смещается к 16 ч. Возможно, сомнения Бозиана [10] в неизбежности депрессий фотосинтеза в середине дня не лишены оснований, в то же время у хвойных они имеют место. Более того, даже таким простым методом измерения транспирации, как быстрое взвешивание побегов, удавалось проследить депрессию в середине дня, что оправдывает применение этого метода, осторожно критикуемого в настоящее время Слейчером [7]. Нельзя полностью отвергать или абсолютизировать депрессии физиологических процессов в середине дня, так как существуют различные экологические группы растений. Известна, например, группа памирских растений, не достигающих фотосинтетического насыщения даже при полной солнечной инсоляции [3], поскольку эти виды существуют в условиях умеренных дневных температур, исключающих перегрев листового аппарата.

Подобные результаты по фотосинтезу и транспирации получены для хвои второго года (табл. 1). Интересно совпадение депрессии фотосинтеза у кедра и ели в 12 ч. и довольно равномерный дневной ход газообмена и транспирации у пихты белокорой. Коэффициенты, выражающие эффективность расхода влаги при фотосинтезе, в первой половине дня выше, чем во второй. Кох [11] объясняет этот факт относительно быстрым нарастанием интенсивности фотосинтеза с утра по сравнению с возрастанием потери воды при транспирации, когда создаются условия для наиболее продуктивного газообмена. К такому же заключению приходит Польстер [12]. Ясно и другое: у хвои второго года соотношения интенсивности фотосинтеза и транспирации более благоприятны для

роста дерева, поскольку эта хвоя при транспирации теряет значительно меньше влаги, чем хвоя первого года, в то время как ее фотосинтез остается на высоком уровне. Кроме того, интенсивность дыхания в 20 ч. у хвои второго года значительно слабее, чем у хвои первого года.

Несколько неожиданным оказался наименьший расход воды при фотосинтезе требовательной к ней ели аянской. Однако это согласуется с меньшей интенсивностью транспирации по сравнению с кедром и пихтой белокорой и с возрастанием гидрофильности коллоидов протоплазмы хвои ели аянской в условиях недостатка влаги в почве [5]. Это одно из важнейших проявлений ее генотипических особенностей.

При измерении фотосинтеза и транспирации древесных пород в течение вегетационного сезона складывались самые различные погодные условия. По признаку уменьшения интенсивности летнего фотосинтеза они могут быть расположены в такой ряд: солнечный день после дождя, пасмурные дни и жаркие солнечные дни бездождевых периодов. Чередование погодных ситуаций в определенные периоды вегетации усложнило изучение динамики физиологических процессов с мая по октябрь (рис. 1 и 2). Заметны летние максимумы интенсивности фотосинтеза и особенно транспирации, совпадающие с максимальными температурами воздуха в июле и высокой температурой почвы в зоне распространения корней (около 16°). Сравнительно невысокая интенсивность изучаемых процессов в августе связана, по-видимому, с большой влажностью воздуха и с высокими ночными температурами, что в общем способствует усилению дыхания и понижению уровня транспирации. С другой стороны, в сентябре фотосинтез и транспирация удивительно высоки. Подобное обстоятельство отмечали П. Крамер и Т. Козловский [6]. Следует обратить внимание на благоприятное сочетание для фотосинтеза микроклиматических условий, складывающихся в сентябре: умеренные температуры воздуха и почвы в корнеобитаемом слое (около 14°), близкая к оптимальной относительная влажность воздуха. Не исключено, что именно это является причиной вторичного роста побегов древесных пород, в том числе и кедра корейского. Интересно также, что в мае оптимальной для фотосинтеза температуре воздуха не соответствует еще низкая температура (около 7° в середине месяца) корнеобитаемого горизонта почвы, поэтому несмотря на интенсивную инсоляцию фотосинтез несколько подавлен из-за недостаточного притока влаги из почвы в надземные органы. Резкие депрессии интенсивности транспирации в июле (рис. 2, а) и фотосинтеза в конце июня (рис. 1, б) объясняются неблагоприятной погодой, но не особенностью динамики процессов в это время вегетации древесных пород.

У ясеня интенсивность фотосинтеза и транспирации максимальна, но их продолжительность значительно меньше, чем у других пород (ясень к середине сентября заканчивает вегетацию). В интенсивности фотосинтеза кедра и ели нет больших различий. У пихты белокорой она несколько ниже, чем у двух других хвойных видов. Вполне закономерны и полностью сходны с предыдущими данные о транспирации хвойных, которая максимальна у кедра; пихта белокорая и ель аянская близки между собой по этому показателю, но у ели он все же заметно ниже. В целом интенсивность транспирации хвои первого года выше, чем второго, а интенсивность фотосинтеза скорее имеет обратную тенденцию (только у ели интенсивность фотосинтеза хвои первого года выше, чем второго). К середине октября у хвойных преобладает дыхание, однако в теплое время дня фотосинтез возможен еще в ноябре (данные отдельных измерений).

Итак, интенсивность фотосинтеза и транспирации ясеня маньчжурского в несколько раз выше, а продолжительность вегетации примерно на два месяца короче, чем у хвойных видов; по величине расхода воды в процессе поглощения углекислоты ясень (как и пихта белокорая) занимает промежуточное положение между кедром и елью. Расход воды в процессе транспирации и фотосинтеза наиболее «расточительным» оказался у кедра корейского, а у требовательной к влажности почвы и воздуха ели аянской — наиболее экономным. Судя по расходу воды и газообмену, хвоя второго года у всех пород физиологически более эффективна, чем первого.

Полученные цифровые данные могут быть использованы для расчетов расхода воды и поглощения углекислоты древостоями; при этом надо знать вес хвои или листьев на единице площади, занимаемой фитоценозом.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вознесенский В. Л., Зеленский О. В., Семихатова О. А. Методы исследования фотосинтеза и дыхания растений. М.—Л., «Наука», 1965. [2]. Гирник Д. В. Некоторые итоги изучения физиологии цветения и нектаровыделения липы на Дальнем Востоке. — В сб.: Физиология древесных пород юга Дальнего Востока. М., изд. АН СССР, 1963. [3]. Глаголева Т. А. Зависимость фотосинтеза памирских растений от интенсивности освещения. — В сб.: Экспериментальная ботаника, вып. 16. М.—Л., изд. АН СССР, 1963. [4]. Иванов Л. А., Силина А. А., Цельникер Ю. Л. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях. — «Ботанический журнал», 1950, т. 37, № 2. [5]. Калинин Е. П. Некоторые изменения водного режима хвойных пород южного Приморья при искусственном иссушении почвы. — В сб.: Физиология и экология древесных растений. Свердловск, 1968. [6]. Крамер П., Козловский Т. Физиология древесных растений. М., Гослесбумиздат, 1963. [7]. Слейчер Р. Водный режим растений. М., «Мир», 1970. [8]. Чернышев В. Д. Физиологическая характеристика подроста в различных эколого-фитоценологических условиях широколиственно-хвойных лесов южного Приморья. Автореферат кандидатской диссертации. Владивосток, 1967. [9]. Чернышев В. Д. Фотосинтез и дыхание подроста хвойных пород в различных эколого-фитоценологических условиях. — В сб.: Некоторые вопросы биологии и медицины на Дальнем Востоке. Владивосток, 1968. [10]. Bosian G. The controlled climate in the plant chamber and its influence upon assimilation and transpiration. — «Arid. Zone Res.», 1965. [11]. Koch W. Der Tagesgang der Produktivität der Transpiration. — «Planta», 48, 1956/1957, 418—452. [12]. Polster H. Neuere Ergebnisse auf dem Gebiet der Standortökologischen Assimilations und Transpirationsforschung an Forstgewächsen Sitzungsberichte, B. X, H. 1. Berlin, 1961.

Поступила 22 мая 1972 г.

УДК 634.056

### К ИСЧИСЛЕНИЮ ТЕКУЩЕГО ПРИРОСТА И ЗАПАСА ОТПАДА В НАСАЖДЕНИИ

А. В. ПОЛЯКОВ, Ю. Н. САВИЧ

Украинская сельскохозяйственная академия

Анализируется новая формула проф. П. В. Воропанова для определения текущего прироста насаждения. Сделан вывод, что формула не является научно обоснованной и дает неприемлемые для практики систематические погрешности.

Трудно переоценить значение метода, позволяющего быстро и точно определять текущий прирост древесины в насаждениях. В этом отношении большой интерес представляет предложенная проф. П. В. Воропановым формула

$$Z_M^{\text{тек}} = \left( \frac{M_a}{N_a} - \frac{M_{a-n}}{N_{a-n}} \right) N_a, \quad (1)$$

где  $Z_M^{\text{тек}}$  — текущий прирост древостоя;  
 $M_a$  и  $M_{a-n}$  — запас наличного древостоя в настоящее время и  $n$  лет назад;  
 $N_a$  и  $N_{a-n}$  — число стволов наличного древостоя в настоящее время и  $n$  лет назад.

Формула (1) подкупает простотой, так как при ее использовании нет необходимости иметь сведения об отпаде (промежуточном пользовании) за  $n$  лет. По утверждению П. В. Воропанова, формула (1) дает практически такую же точность, как и классическая формула

$$Z_M^{\text{тек}} = M_a - M_{a-n} + M_o, \quad (2)$$

где  $M_o$  — запас отпада (промежуточного пользования) за  $n$  лет.

П. В. Воропанов широко использовал свою формулу для разработки ряда практических рекомендаций [1]. Рассмотрим существо нового предложения. Прежде всего, проанализируем формулу (1). Погрешность ее в процентах составит

$$P = \left[ \frac{\left( \frac{M_a}{N_a} - \frac{M_{a-n}}{N_{a-n}} \right) N_a}{M_a - M_{a-n} + M_o} - 1 \right] \cdot 100, \quad (3)$$

где  $P$  — погрешность формулы (1) по сравнению с точным результатом, определенным по формуле (2).

После упрощения формулы (3) получим

$$P = \left[ \frac{V_a - V_{a-n}}{V_a - V_{a-n} \frac{N_{a-n}}{N_a} + V_o \left( \frac{N_{a-n}}{N_a} - 1 \right)} - 1 \right] \cdot 100, \quad (4)$$

где  $V_a$  — средний объем одного ствола наличного древостоя в настоящее время;

$V_{a-n}$  — средний объем одного ствола наличного древостоя  $n$  лет назад;

$V_o$  — средний объем одного ствола отпада (промежуточного пользования) за  $n$  лет.

Нетрудно установить, что:

$P = 0$ , если

$$N_a = N_{a-n}; \quad (5a)$$

$P = 0$ ; если

$$V_o = V_{a-n}; \quad (5б)$$

$P < 0$ , если

$$V_o > V_{a-n}; \quad (5в)$$

$P > 0$ , если

$$V_o < V_{a-n}. \quad (5г)$$

Условие (5а) выполняется весьма редко, например, если период, за который определяется прирост, невелик. Соотношения (5б) и (5в) возможны при верховом уходе. В реальных условиях, как правило,

имеет место только соотношение (5г), когда средний объем одного ствола отпада (промежуточного пользования) меньше среднего объема одного ствола наличного древостоя  $n$  лет назад. Следовательно, можно утверждать, что формула (1) в подавляющем большинстве случаев будет давать преувеличение.

Конкретный размер погрешности целесообразно оценить по материалам постоянных пробных площадей, на которых учтен запас отпада (промежуточного пользования).

Для оценки точности своей формулы П. В. Воропанов привлекает материалы А. Шваппаха [2] по сосне (табл. 1) и приходит к выводу, что его формула характеризуется высокой точностью (гр. 8 табл. 2).

Таблица 1

№ проб	Оставляемый древостой			Промежуточное пользование		Средний периодический прирост	
	Возраст, лет	Число стволов, шт.	Запас, м <sup>3</sup>	Число стволов, шт.	Запас, м <sup>3</sup>	Период, лет	м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
3	20	4665	63,8	6140	—	21—26	10,0
	26	3620	118,0	1045	5,6	27—37	12,1
	32	2195	—	1425	22,0		
	37	1530	191,3	665	38,1		
12	36	2684	234,3	—	—	48—54	9,9
	47	1487	309,1	—	—	55—65	9,7
	54	1127	342,0	360	36,1		
	59	790	—	337	66,3		
84	65	603	323,7	187	58,9		
	78	722	400,2	—	—	79—87	7,1
	87	605	438,5	117	25,3	88—95	6,8
	95	519	465,4	86	27,3	96—106	8,5
	100	410	—	109	66,8		
	106	380	459,6	30	32,5		

Таблица 2

№ проб	Возраст, лет	Запас, м <sup>3</sup>	Число стволов, шт.	Промежуточное пользование, м <sup>3</sup>	Годичный текущий прирост, м <sup>3</sup>		Погрешность формулы П. В. Воропанова, %
					по формуле (2)	по формуле (1)	
1	2	3	4	5	6	7	8
3	26	118	3620	66	12,6	12,7	+0,8
	37	191	1530				
12	54	342	1127	161	13,0	12,8	-1,5
	65	324	603				
84	95	465	519	127	11,0	10,9	-0,9
	106	460	380				

Однако, просматривая табл. 1 и 2, легко заметить, что текущий прирост, вычисленный П. В. Воропановым (гр. 6 табл. 2) по классической формуле (2), существенно превышает соответствующие показатели А. Шваппаха (гр. 8 табл. 1). Это несоответствие вызвано тем, что П. В. Воропанов, вычисляя размер прироста, использовал запас промежуточного пользования не за рассматриваемый 11-летний период, а за 17 лет по пробе № 3, за 18 лет по пробе № 12 и за 19 лет по пробе № 84 (сравним гр. 6 табл. 1 и гр. 5 табл. 2). В результате, естественно, текущий прирост, принятый в качестве точного, оказался преувеличен-

ным. А так как формула (1) обычно дает завышенные результаты, сравнение оказалось в пользу новой формулы. Фактически же отклонения получаются следующими (табл. 3).

Таблица 3

№ проб	Текущий прирост, м <sup>3</sup>		Погрешность формулы П. В. Воропанова, %
	по А. Шваппаху	по формуле П. В. Воропанова	
3	12,1	12,9	+6,6
12	9,7	12,8	+32,0
84	8,5	10,9	+28,2

Если обратиться к упомянутым материалам А. Шваппаха [2], то точность новой формулы П. В. Воропанова может быть охарактеризована следующими данными (табл. 4, в которой расчеты выполнены для 100 периодов по первым 53 пробным площадям, взятым без выбора из работы А. Шваппаха). Систематическая ошибка формулы (1) по этим данным составляет +47,6%, в связи с чем нельзя не поставить под сомнение целесообразность ее использования для определения текущего прироста древостоя.

Таблица 4

Погрешность формулы (1) %		Число периодов
от	до	
-20	0	1
0	+19,9	12
+20	+39,9	34
+40	+59,9	27
+60	+79,9	13
+80	+99,9	8
+100	+119,9	1
+120	+139,9	3
+140	+159,9	1
Итого		100

Рассмотрим результаты проверки П. В. Воропановым [1] своего предложения на примере таблицы хода роста сосны II класса бонитета проф. А. В. Тюрина.

Таблица 5

Возраст, лет	Оставляемая часть древостоя			Отпад		
	Запас, м <sup>3</sup>	Число стволов, шт.	Средний объем одного ствола, м <sup>3</sup>	Скорректированный П. В. Воропановым запас, м <sup>3</sup>	Число стволов, шт.	Средний объем одного ствола, м <sup>3</sup>
20	72	4800	0,0150	—	—	—
30	136	2800	0,0486	30	2000	0,0150
40	208	1940	0,1077	42	860	0,0487
50	274	1380*	0,1985	60	560	0,1071
60	332	1070	0,3103	62	310	0,2000

\* В первоисточнике указано 1340 стволов. Число 1380 приведено для сохранения греемственности [1].

На основе материалов для оставляемой части древостоя, приведенных в таблице А. В. Тюрина, П. В. Воропанов по своей формуле вычислил размеры текущего прироста, исходя из них скорректировал размер запаса отпада в названной таблице, по формуле (2) рассчитал значения текущего прироста и принял их за точные. После такой корректировки средний объем одного ствола отпада оказался равным среднему объему одного ствола наличного древостоя  $n$  лет назад (табл. 5). А при таком условии, как видно из соотношения (5б), формулы (1) и (2) дают совершенно одинаковый результат, что и получил П. В. Воропанов. Заметим, кстати, что если в таблице хода роста размер текущего прироста задать не только по формуле (1), но и совершенно произвольно, скорректировать соответственно размер запаса отпада, а затем по формуле (2) вычислить прирост, то получим результат, в точности равный заданному. Очевидно, что доказательство правильности формулы (1), основанное на описанном приеме, нельзя считать обоснованным.

На основании изложенного приходим к выводу, что предложенная П. В. Воропановым новая формула для исчисления текущего прироста древостоя не является научно обоснованной и дает не приемлемые для практики систематические погрешности, в связи с чем не может быть рекомендована для использования.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Воропанов П. В. Текущий прирост и запас отпада в насаждении. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974, № 4. [2]. Schwarppach A. Die Kiefer. Neudamm, 1908.

---

Поступила 14 января 1975 г.

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 531.3 : 621.867.63

О НЕСВОБОДНОМ ПАДЕНИИ БРЕВНА  
С РОЛИКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

В. В. АНДРОНОВ, А. Г. ПИЛЮТИК

Московский лесотехнический институт

Проведен анализ несвободного падения в общем случае, когда движение описывается нелинейным дифференциальным уравнением с переменными коэффициентами. Приведены результаты численного интегрирования этого уравнения на ЭЦВМ «БЭСМ-6» и дан сравнительный анализ с результатами приближенного решения задачи.

Несвободное падение бревна с роликового транспортера при достаточно общих предположениях описывается нелинейным дифференциальным уравнением с переменными коэффициентами

$$\left[ \frac{5}{4} r^2 + \frac{l^2}{3} + (rtg\alpha + r_1\omega_1 t - r_1\varphi)^2 \right] \ddot{\varphi} + (rtg\alpha + r_1\omega_1 t - r_1\varphi)(2r_1\omega_1 - r_1\dot{\varphi}) - g [(rtg\alpha + r_1\omega_1 t - r_1\varphi) \cos(\alpha - \varphi) - r \sin(\alpha - \varphi)] = 0, \quad (1)$$

где  $\varphi$  — угол между осями бревна и транспортера в момент времени  $t$ ;

$\alpha$  — угол наклона транспортера;

$r_1, \omega_1$  — радиус и угловая скорость ролика;

$r, 2l$  — радиус и длина бревна;

$g$  — ускорение силы тяжести.

Если считать бревно тонким однородным стержнем, углы  $\alpha$  и  $\varphi$  достаточно малыми, а окружную скорость ролика большой, то, как было показано [1], получается линейное дифференциальное уравнение, общее решение которого

$$\varphi = C_1^* \arctg \frac{\sqrt{3} r_1 \omega_1 t}{l} + \frac{gt}{2r_1 \omega_1} + C_2^*, \quad (2)$$

где  $C_1^*$  и  $C_2^*$  — постоянные интегрирования.

Уравнение (2) было положено в основу анализа процесса несвободного падения бревна при указанных предположениях. При этом, однако, исключается возможность исследования влияния радиуса бревна и угла наклона транспортера, возникает вопрос об области применимости полученных результатов и вообще о характере реального динамического процесса.

В данной работе приведен более полный анализ процесса несвободного падения бревна с роликового транспортера. Численное интегрирование дифференциального уравнения (1) с применением современных методов вычислительной математики [2] производили на ЭЦВМ «БЭСМ-6» при следующих начальных условиях [1]:

$$t_0 = 0; \quad \varphi_0 = 0; \quad \dot{\varphi}_0 = 0. \quad (3)$$

Параметры рассматриваемой механической системы варьировали в следующих пределах:  $r_1 \omega_1 = 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10$  м/с;  $2l = 2; 4,5; 6,5; 8$  м;  $r = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$  м;  $\alpha = 0; 10; 20; 30$  град. Радиус ролика  $r_1$  был постоянным и принят равным  $0,125$  м.

Время интегрирования  $t^*$  для каждой из 560 комбинаций параметров определяли как меньший из корней уравнений

$$r \operatorname{tg} \alpha + r_1 \omega_1 t - r_1 \varphi = l; \quad (4)$$

$$g \cos(\alpha - \varphi) - \ddot{\varphi}(r \operatorname{tg} \alpha + r_1 \omega_1 t - r_1 \varphi) - \dot{\varphi}^2(r - r_1) - 2\dot{\varphi}r_1 \omega_1 = 0. \quad (5)$$

Первое из них соответствует равенству свешивающейся части бревна  $s$  всей его длине  $2l$ , второе получено из условия равенства нулю нормальной реакции ролика транспортера.

Соответствующие расчеты по определению конечного значения времени интегрирования  $t^*$  для каждого варианта были введены в основную программу и выполнялись на ЭЦВМ в процессе численного интегрирования исходного дифференциального уравнения (1).

На рис. 1 показаны полученные таким образом графики зависимости от времени угла поворота бревна  $\varphi$ , угловой скорости  $\dot{\varphi}$ , а также отнесенных к весу бревна (удельных) нормальной реакции  $N^\circ$  и силы трения  $F^\circ$  при различных значениях окружной скорости ролика.

Формулы для вычисления нормальной реакции  $N$  и силы трения  $F$  имеют вид [1]

$$N = M [g \cos(\alpha - \varphi) - \ddot{\varphi}(r \operatorname{tg} \alpha + r_1 \omega_1 t - r_1 \varphi) - \dot{\varphi}^2(r - r_1) - 2\dot{\varphi}r_1 \omega_1]; \quad (6)$$

$$F = M [g \sin(\alpha - \varphi) + \ddot{\varphi}r - \dot{\varphi}^2(r \operatorname{tg} \alpha + r_1 \omega_1 t - r_1 \varphi)], \quad (7)$$

где  $M$  — масса бревна.

Положительные значения силы трения соответствуют ее направлению в сторону вращения ролика. Штриховыми линиями показаны графики предельно возможной удельной силы трения  $F^\circ$  в конечной стадии процесса несвободного падения при различных значениях коэффициента трения скольжения  $f$ .

Из приведенных графиков следует, что отрыв бревна от ролика при  $N = 0$  имеет место лишь при относительно малых значениях окружной скорости ролика  $r_1 \omega_1$ . В большинстве рассматриваемых случаев сход бревна (в момент  $t = t^*$ ) происходит при  $N \neq 0$ . Так, на рис. 1 это имеет место при  $r_1 \omega_1 \geq 3$  м/с (б, в). Граничное значение скорости ролика в данном случае немного меньше 3 м/с.

Установлено, что в интервале значений угла  $\alpha = 10 \div 30^\circ$  граничное значение  $r_1 \omega_1 \leq 4$  м/с для бревен всех расчетных радиусов и длин. Лишь при угле наклона транспортера  $\alpha = 0$  и больших радиусах и длинах бревна оно может достигать 5 м/с.

Из графиков, приведенных на рис. 1, также следует, что сила трения, потребная для движения без скольжения (кривая 4), в некоторых случаях может превышать предельную силу трения скольжения между бревном и транспортером (штриховые линии). В этом случае бревно будет скользить по ведущему ролику и, следовательно, реализуется второй случай режима 2 несвободного падения [1]. Это явление особенно характерно для движений с малыми скоростями транспортера и малыми коэффициентами трения между бревном и роликом. Так, на рис. 1, а продолжительность движения со скольжением при  $f = 0,5$  составляет свыше трети всего времени несвободного падения.

Таким образом, предположение об отсутствии скольжения, строго говоря, правомерно при достаточно больших значениях фактических

коэффициентов трения и окружных скоростей ролика транспортера. Однако без такого предположения задача о несвободном падении бревна существенно усложняется.

При проектировании транспортеров, подобных рассматриваемым, обычно надо знать угол поворота бревна и его угловую скорость в момент схода, то есть величины

$$\varphi^* = \varphi(t^*) \text{ и } \omega^* = \dot{\varphi}(t^*).$$

На рис. 2 приведены графики изменения этих величин в зависимости от радиуса бревна при различных значениях его длины ( $\varphi^*$  — кривые 1,  $\omega^*$  — кривые 2). Как и следовало ожидать, зависимость  $\varphi^*$  и  $\omega^*$  от радиуса бревна относительно ярко выражена только в области малых длин (рис. 2, а). При значениях длины бревна  $2l \geq 4,5$  м она становится несущественной (рис. 2, б, в, г). Для сравнения на этих же графиках штриховыми линиями показаны результаты вычислений  $\varphi^*$  и  $\omega^*$  по формулам (12) и (13) работы [1]. Обращает на себя внимание хорошее совпадение результатов для всех расчетных значений радиуса  $r$  при длинах  $2l \geq 4,5$  м. При меньших длинах применение приближенных формул допустимо лишь для бревен радиусом  $r < 0,2$  м (например, рис. 2, а).

На рис. 3 даны графики изменения  $\varphi^*$  и  $\omega^*$  в зависимости от радиуса бревна при различных значениях угла наклона транспортера (вертикальные ряды графиков) и окружной скорости ролика (горизонтальные ряды графиков) для одной и той же длины бревна  $2l = 4,5$  м.

Как видно, влияние угла наклона и скорости транспортера на изменение  $\varphi^*$  и  $\omega^*$  в зависимости от радиуса бревна при больших углах  $\alpha$  и малых скоростях  $r_1 \omega_1$  оказывается достаточно сильным. С уменьшением  $\alpha$  и ростом  $r_1 \omega_1$  это влияние заметно ослабевает и при  $\alpha = 0^\circ$ ,  $10^\circ$  и  $r_1 \omega_1 = 4$  м/с почти совсем исчезает (рис. 3, и, к). При этом достигается также хорошая сходимость результатов численного интегрирования с соответствующими приближенными результатами работы [1], показанными штриховыми линиями.

На рис. 4 дана зависимость тех же величин от скорости транспортера при различных значениях длины бревна. Сплошными линиями изображены результаты численного, а штриховыми — приближенного анализа.

Таким образом, пренебрежение толщиной бревна и предположение о малости угла  $\varphi - \alpha$ , использованные для линеаризации дифференциального уравнения (1) и последующего приближенного рассмотрения динамики несвободного падения, при некоторых значениях параметров могут привести к заметной погрешности в результатах. Для характеристики этой погрешности на рис. 5 приведены области 10%-ной точности формул (12) и (13) работы [1] (они обозначены штриховкой), построенные с использованием результатов численного интегрирования исходного уравнения (1) при всех вышеприведенных значениях параметров системы (в отсутствующих вариантах 10%-ная точность не достигается). Соответствующие вычисления проводили по формулам

$$p_\varphi = \frac{\varphi_{\text{п}}^* - \varphi_{\text{м}}^*}{\varphi_{\text{м}}^*} \cdot 100\%; \quad p_\omega = \frac{\omega_{\text{п}}^* - \omega_{\text{м}}^*}{\omega_{\text{м}}^*} \cdot 100\%, \quad (8)$$

в которых  $p_\varphi$  и  $p_\omega$  — погрешности (в процентах) вычисления угла  $\varphi^*$  и угловой скорости  $\omega^*$ , а индексы «м» и «п» относятся к результатам соответственно машинного (численного) и приближенного (согласно

формулам (12) и (13) [1]) расчетов. На каждой из приведенных диаграмм по горизонтали изменяется скорость транспортера, по вертикали — длина бревна. Расположение этих областей дает наглядное представление о том, при каких параметрах системы допустимо пользоваться приближенной теорией несвободного падения.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Андронов В. В., Пилютик А. Г., Сычев В. Д. Исследование движения бревна, сбрасываемого с роликового транспортера. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974, № 4. [2]. Хемминг Р. В. Численные методы. М., «Наука», 1972.

Поступила 2 декабря 1974 г.

УДК 620.178.7 : 634.0.323

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ПАДЕНИИ ДЕРЕВЬЕВ

А. В. ЖУКОВ, К. Б. АБРАМОВИЧ, А. И. СМЕЯН, В. К. ХЕГАЙ

Белорусский технологический институт

Рассмотрены ударные нагрузки при падении деревьев. Исследованы величины и характер изменения динамических нагрузок. Ударные усилия измерены экспериментальным путем на специальном стенде. Получен ряд рекомендаций, которые влияют на величину указанных нагрузок, а также пути их снижения.

При проектировании машин, воспринимающих удар падающего дерева, необходимо знать ударные нагрузки, возникающие в приемных устройствах.

Теоретические разработки, выполненные в ЛТА [1—3], позволяют расчетным путем найти ударные силы для широкого класса систем, принимающих падающее дерево, однако ряд вопросов требует дальнейшего уточнения и развития.

С этой целью нами замерены ударные нагрузки, возникающие при повале деревьев на приемные балки. Приемное устройство включало опорную плиту, направляющие стойки и жесткую балку, свободно перемещающуюся по направляющим стойкам (рис. 1, б и г). Между подвижной балкой и плитой устанавливали 1—4 пружины. Жесткость одной пружины 32 кгс/см, высота опорной балки 0,8 м, ширина по крайним опорам 1,09 м.

При исследованиях использовали также второй вариант приемного устройства: подвижную балку заклинивали жесткими упорами, а на ее верхних выступах как на жестких опорах размещали упругую балку, которая воспринимала удар падающего дерева. Жесткость опор варьировали или изменением числа пружин, или установкой упругих балок разного сечения.

Для определения ударных усилий измеряли деформации упругих элементов приемного устройства с помощью реохордных датчиков перемещений. Установка их показана на рис. 1, б, в, г. Перемещения регистрировали комплектом аппаратуры (рис. 1, а), в которую входил осциллограф К-12-21, а время — электроконтактными часами МЧ-62. С помощью датчиков СПЭД-56 в отдельных опытах записывали последующие колебания ствола дерева. Реохордные датчики, электроконтактные часы и осциллографы питались от аккумуляторных батарей.

Вес всего дерева, а также той его части, которая приходилась на приемную балку в статическом состоянии после удара, определяли с помощью динамометра ДП-4. По результатам взвешивания находили центр тяжести.

Падение деревьев на опору производили как из вертикального их положения, так и из наклонного (рис. 1, г).

В опытах варьировали породы деревьев, их вес, расстояние до опоры, угол наклона ствола, жесткость приемных устройств. Повторность опытов 8—10-кратная.

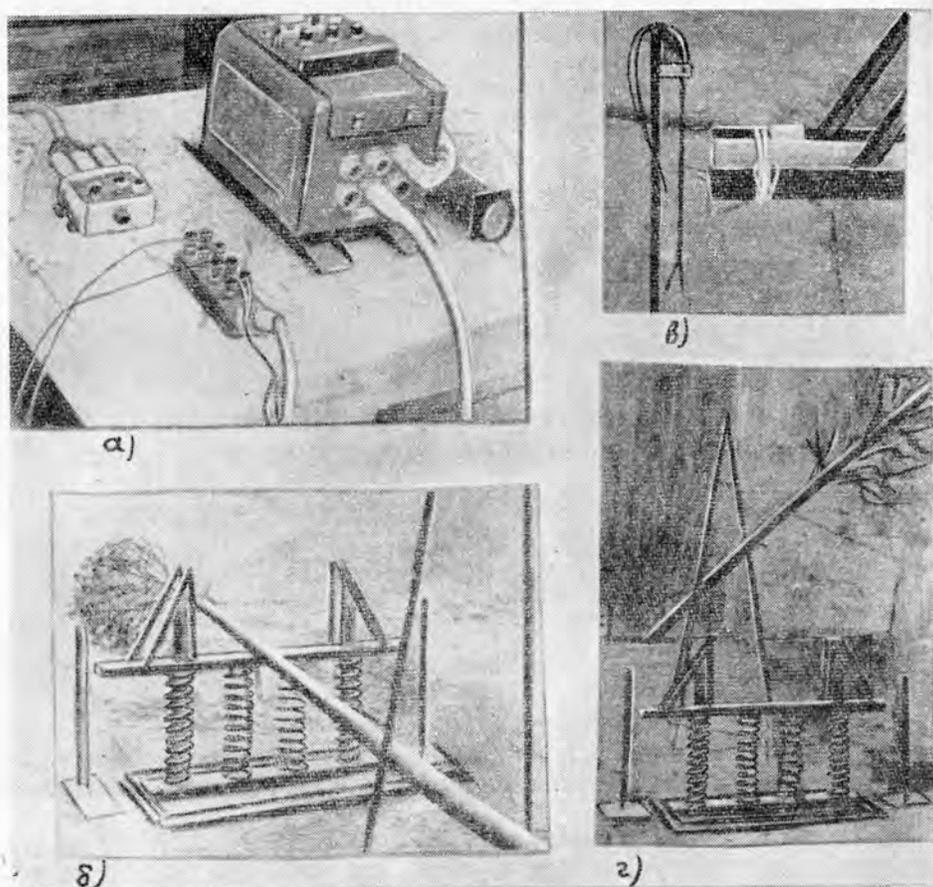


Рис. 1. Измерительный стенд.

а — регистрирующая аппаратура; б — приемное устройство пружинного типа; в — установка датчика перемещений; г — проведение опыта при падении дерева из наклонного положения.



Рис. 2. Осциллограмма перемещений подпружиненной балки при ударе дерева.

1 — датчик I (правая сторона); 2 — датчик II (левая сторона).

На рис. 2 приведена осциллограмма перемещений концов подпружиненной балки при падении на нее сосны диаметром на высоте груди  $d_{1,3} = 24$  см, весом  $G = 295$  кгс. При обработке осциллограмм измеряли максимальные динамические  $A_{max 1}$  и  $A_{max 2}$ , а также статические —  $P_{ст1}$  и  $P_{ст2}$  перемещения. Затем определяли средние значения данных величин, а также максимальные динамические  $A_{g max}$  и статические  $P_{ст}$  усилия. В качестве важного оценочного критерия определяли коэффициент динамичности  $K_d$ , равный отношению  $\frac{A_{g max}}{P_{ст}}$

Образец осциллограммы, приведенной на рис. 2, показывает, что усилия в упругих элементах приемного устройства носят характер ярко выраженных затухающих колебаний.

Для оценки послеударных колебаний системы вычисляли логарифмический декремент затухания  $n$  и основную частоту  $\omega$  свободных колебаний (рис. 2) по формулам

$$n = \frac{\ln \frac{z_1}{z_{i+1}}}{T};$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

где  $z_1$  и  $z_{i+1}$  — предыдущая и последующая ординаты максимумов кривой процесса, отстоящие друг от друга по времени на величину одного полного периода свободных затухающих колебаний;

$T$  — период свободных колебаний.

Логарифмический декремент затухания изменяется в широких пределах и для деревьев, параметры которых приведены в табл. 1, имеет значения от 0,58 до 5,33.

Таблица 1

Порода	Диаметр на высоте груди $d_{1,3}$ , см	Длина дерева $L$ , м	Высота центра тяжести $h_c$ , м	Вес дерева $G$ , кгс	Вес кроны $G_{кр}$ , кгс	Длина кроны $l_{кр}$ , м
Береза	17	18,18	5,23	238	48	6,0
Сосна	15	15,19	5,82	125	30	3,7
Сосна	24	13,85	5,70	295	40	6,0
Ель	16	17,72	6,56	234	48	8,3
Ель	17	16,07	6,32	245	55	8,0

Исследования показали, что интенсивность затухания колебаний системы зависит от жесткости упругих элементов приемного устройства, жесткости ствола дерева, расстояния от дерева до приемной балки и некоторых других параметров. Одним из основных показателей, влияющих на интенсивность затухания колебаний, является трение в элементах приемного устройства, однако опыты по варьированию этого параметра нами не производились.

Частоты собственных послеударных колебаний системы зависят от массы дерева и жесткости ствола дерева и пружин или упругой балки. Пределы изменения частот  $\omega$  весьма широки. Например, для сосны диаметром  $d_{1,3} = 15$  см, длиной  $L = 15,19$  м, при расстоянии от дерева до балки  $a = 10,55$  м частота  $\omega$  составляет 24,15—26,16 1/с, а для сосны с  $d_{1,3} = 24$  см и при том же расстоянии  $a$  и жесткости пружин приемной балки пределы изменения собственной основной частоты колебаний составили 30—35 1/с.

На характер колебаний системы существенно влияют параметры кроны, прежде всего ее вес в сочетании с длиной консольной части ствола. Опытами установлено, что для деревьев с кроной частота свободных колебаний системы в 1,3—1,5 раза меньше, чем для хлыстов. Это различие возрастает с увеличением консольной вершинной части ствола и становится менее заметным с ее уменьшением. При размещении точки соприкосновения ствола с приемной балкой на расстоянии 1,3—1,7 м различия в частотах не наблюдалось.

Исследования показали, что колебания балки на пружинах или упругой приемной балки существенно зависят не только от веса кроны, ее типа и протяженности, но и от жесткости и массы ствола дерева. Эти параметры влияют также на величину и продолжительность максимальных ударных нагрузок. Конечно, данное влияние в большей мере определяется соотношением форм собственных колебаний дерева и приемного устройства. Характерно, что в некоторых случаях наложение указанных колебаний друг на друга может оказаться неблагоприятным и увеличит динамическую нагруженность системы.

Максимальные ударные усилия, возникающие при падении деревьев, могут быть весьма значительными. Так, даже для небольшого дерева весом всего 125 кгс (сосна  $d_{1,3} = 15$  см, с кроной) при падении его из наклонного состояния под углом  $33^\circ$  к поверхности земли, сила  $A_{g \max}$  достигала 475 кгс. Правда, диапазон изменения силы  $A_{g \max}$  весьма велик и зависит от соотношения параметров системы. Для деревьев, характеристика которых приведена в табл. 1, значения коэффициента динамичности изменялись от 6,25 до 10,5 и даже до 12,0 при особо неблагоприятных случаях.

Заметное снижение ударных усилий наблюдается при уменьшении жесткости приемного устройства. При установке под приемной балкой двух пружин вместо четырех максимальное ударное усилие снижалось на 10—15%. Некоторое снижение динамической нагруженности происходило также и в случае, если дерево имело длинный и гибкий ствол.

На величину максимальных ударных усилий существенно влияет высота падения дерева. При повале дерева из наклонного исходного положения с увеличением высоты его центра тяжести ударные усилия возрастают, сначала интенсивно, а затем их рост постепенно замедляется (рис. 3).

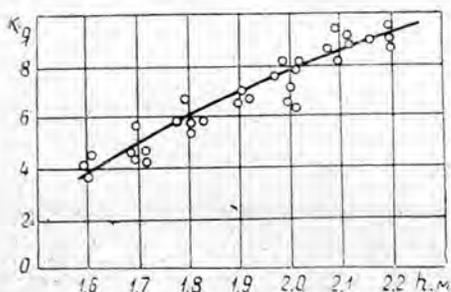


Рис. 3. Зависимость коэффициента динамичности ударных усилий от высоты центра тяжести дерева в исходном перед падением положении.

Проведенные исследования показали, что возникающие при повале деревьев ударные усилия могут достигать больших значений. Однако, несмотря на большую динамическую нагруженность приемных устройств, при оптимальном соотношении параметров приемного устройства и дерева возможно существенное снижение ударных усилий. Важное значение имеют показатели упругости приемной балки, изгибная жесткость ствола, тип и вес кроны, расстояние приемного устройства относительно дерева. Большинство сделанных выводов отвечает результатам исследований других авторов [2] и [3].

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Белозеров Е. Я., Гольдберг А. М., Орлов С. Ф. Исследование процесса повала деревьев на две опоры. — «Лесная промышленность», 1960, № 2. [2]. Дебердеев А. А. Некоторые вопросы динамики повала дерева. — Труды ЛТА, 1959, № 83. [3]. Орлов С. Ф. Теория и применение агрегатных машин на лесозаготовках. М., Гослесбуиздат, 1963.

Поступила 10 июля 1974 г.

УДК 634.0.378.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПЛАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСОЗАДЕРЖИВАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Г. И. ШАРАЕВ, В. Н. ХУДОНОВ

Сибирский технологический институт

Приводится метод расчета наплавных конструкций лесозадерживающего сооружения для обеспечения их устойчивого горизонтального положения. Метод расчета основывается на использовании метacentрической формулы остойчивости при неравнообъемном наклонении плавающего тела.

1. Наплавная опорная плитка поперечной запани, наплавная опорная плитка поперечной части продольной запани и поплавок секции продольной запани обычно крепятся гибкой связью в нескольких местах, находящихся на одной горизонтальной линии, параллельной продольной, или поперечной осям конструктивных элементов. Места крепления находятся вблизи напорных граней этих элементов. Следовательно, наклонение наплавных конструкций всегда неравнообъемное и происходит либо в их продольной, либо в поперечной плоскостях. Расчет наплавных конструктивных элементов сводится к определению таких их размеров, при которых должно быть соблюдено условие устойчивости:

$$\frac{M_3}{M_1 + M_2} = \frac{Gi}{ql_p h' + Wk} \geq \eta, \quad (1)$$

где  $M_1$  — момент от действия внешней силы  $Q$  относительно оси, проекция которой — точка  $A$  (рис. 1);

$$M_1 = ql_p h';$$

$M_2$  — момент, возникающий от действия выталкивающей силы  $W^*$ ;

$$M_2 = Wk;$$

$M_3$  — момент от действия силы тяжести  $G$  надводной части конструктивного элемента;

$$M_3 = Gi;$$

$h', k, i$  — плечи действия сил, соответствующих моментам  $M_1, M_2, M_3$ ;

\* Под выталкивающей силой авторы понимают равнодействующую двух сил: архимедовой, равной произведению объемного веса жидкости на объем погруженной части тела, и собственного веса последней.

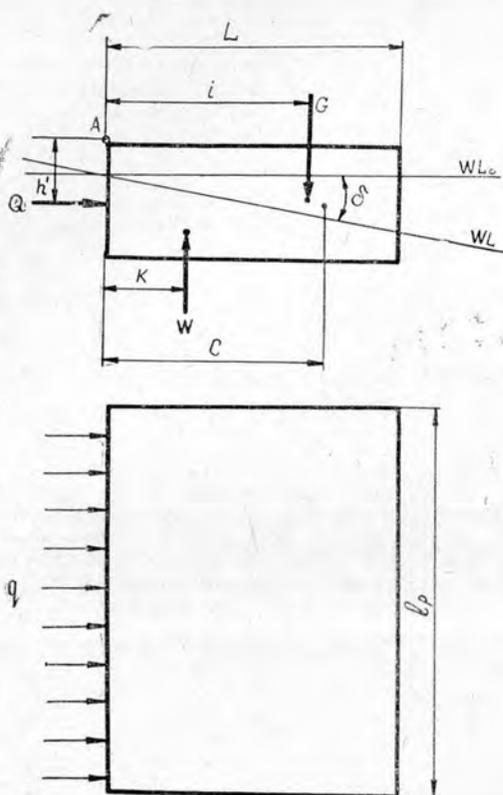


Рис. 1.

- $l_p$  — расчетная длина напорной грани конструктивного элемента (для плитки — ширина, а для поплавка — длина);  
 $q$  — равномерно распределенная нагрузка внешней силы  $Q$  по длине напорной грани конструкции  $l_p$ ;  
 $\eta$  — коэффициент устойчивости  $\eta \geq 1,75$ .

Вместе с тем

$$M_3 = M_B + M', \quad (2)$$

$$M_2 = M_H - M'', \quad (3)$$

- где  $M_B$  — момент от силы веса части элемента, расположенной выше ватерлинии  $WL_0$  (рис. 1);  
 $M_H$  — момент от выталкивающей силы, действующей на погруженную по ватерлинию  $WL_0$  поверхность;  
 $M'$  — момент от веса части элемента, расположенного между ватерлиниями  $WL_0$  и  $WL$  при положении тела, соответствующем ватерлинии  $WL$ ;  
 $M''$  — момент от выталкивающей силы, действующей на часть элемента между ватерлиниями  $WL_0$  и  $WL$  при положении тела, соответствующем ватерлинии  $WL_0$ .

Исходя из условия равновесия  $M_B = M_H$  моменты  $M'$  и  $M''$  можно выразить так:

$$M' = \gamma_T W' c; \quad (4)$$

$$M'' = (\gamma - \gamma_T) W' c, \quad (5)$$

здесь  $\gamma_{\tau}$  — объемный вес материала конструкции;  
 $W'$  — объем части элемента между ватерлиниями  $WL_0$  и  $WL$ ;  
 $c$  — расстояние центра тяжести элемента объемом  $W'$  от оси вращения.

Разность моментов ( $M_3 - M_2$ ) представляет собой часть восстанавливающего момента, которую, исходя из теории неравнообъемного наклона [2], [3], можно выразить математически в следующем виде:

$$M_3 - M_2 = \gamma \left( I + S \frac{L^2}{4} \right) \sin \delta^\circ, \quad (6)$$

где  $\gamma$  — объемный вес воды;  
 $L$  — ширина для поплавка или длина — для плитки;  
 $S$  — площадь ватерлинии;

$$S = Ll_p;$$

$I$  — центральный момент инерции площади ватерлинии относительно оси наклона конструктивного элемента;  
 $\delta^\circ$  — угол наклона, равный углу  $\Theta^\circ$  для поплавка и углу  $\psi^\circ$  — для плитки,  $\delta^\circ \leq 5^\circ$  [4].

Подставляя вместо  $M_3$  и  $M_2$  их значения, получим

$$\gamma W' c = \gamma \left( I + S \frac{L^2}{4} \right) \delta_r, \quad (7)$$

где  $\delta_r$  — угол наклона конструктивного элемента, рад.

Тогда условие устойчивости (1), с учетом выражений (2) — (5), (7) после преобразований примет вид

$$2,18 (2,333\gamma - \gamma_{\tau}) L^3 - 37,5H\gamma_{\tau} \left( 1 - \frac{\gamma_{\tau}}{\gamma} \right) L^2 - 175M'_1 = 0, \quad (8)$$

где  $M'_1$  — величина момента от единичной внешней силы  $q$ .

Введем новую переменную, необходимую для решения уравнения (8),

$$y = L + \frac{b}{3a}, \quad (9)$$

и получим приведенное уравнение 3-й степени [1]:

$$y^3 + 3py + 2g = 0, \quad (10)$$

где

$$2g = \frac{2b^3}{27a^3} + \frac{d}{a};$$

$$3p = -\frac{b^2}{3a^2};$$

$$a = 2,18 (2,333\gamma - \gamma_{\tau});$$

$$b = -37,5H\gamma_{\tau} \left( 1 - \frac{\gamma_{\tau}}{\gamma} \right);$$

$$d = -175M'_1.$$

Уравнение решаем по формуле Кардана [1]

$$y = u + v, \quad (11)$$

где

$$u = \sqrt[3]{-q + \sqrt{q^2 + p^3}};$$

$$v = \sqrt[3]{-q - \sqrt{q^2 + p^3}}.$$

Окончательно расчетный размер наплавного конструктивного элемента определяем из выражения

$$L = y - \frac{b}{3a}. \quad (12)$$

Таким образом, расчет поплавок секций и плиток закрывающей части запани сводится лишь к определению длины для плиток и ширины для поплавок, при этом всегда будет обеспечено необходимое условие устойчивости.

2. На наплавную опорную плитку в продольной части продольной запани действуют силы натяжения в секциях продольной части и силы давления пьжа. Момент от равнодействующей этих сил  $M_p$ , действуя

относительно вертикальной плоскости  $f_1 - f_1$ , стремится вывести плитку из горизонтального равновесия, поворачивая ее относительно оси, проходящей через точку закрепления плитки  $O_1$  (рис. 2). Если при этом точка закрепления расположена вне вертикальной линии, проходящей через центр тяжести плитки, то будет иметь место неравнообъемное наклонение. Кроме того, относительно вертикальной плоскости  $f - f$ , проходящей через центр тяжести площади ватерлинии, действует момент от утапливающей силы  $R$ , возникающий в точке закрепления, от вертикальной составляющей натяжения в шейме для запани на донных опорах и в выносе — для запани на выносах. Обозначим этот момент через  $M_R$ .

Для обеспечения горизонтального равновесия наплавной опорной плитки необходимо точку закрепления перенести в ту ее четверть, в которой от действия утапливающей силы создавался бы момент  $M_R$ , противодействующий наклоняющему моменту  $M_p$ .

Моменты  $M_p$  и  $M_R$  в общем случае действуют в разных вертикальных плоскостях. Поэтому, определяя положение вертикальных плоско-

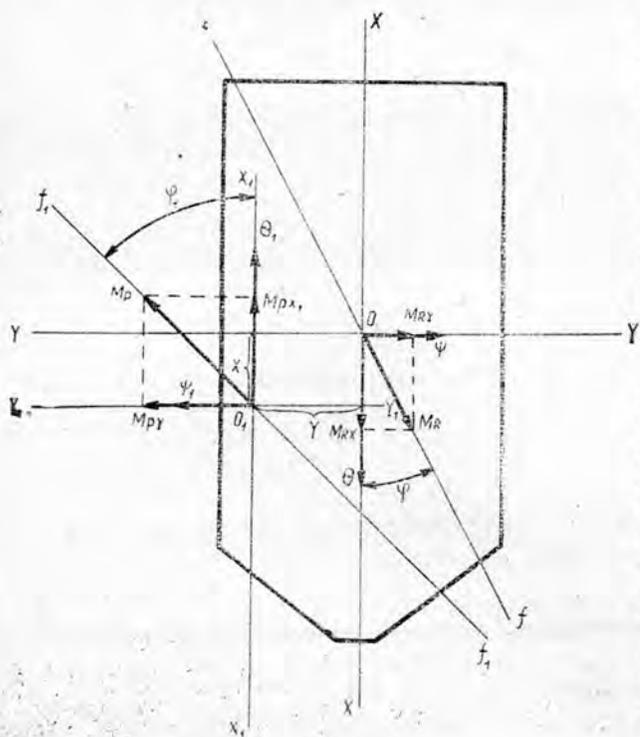


Рис. 2.

стей действия наклоняющего момента  $M_p$  — углом  $\varphi_1$ , а противодействующего момента  $M_R$  — углом  $\varphi$  к вертикальной плоскости  $YOZ$ , можем записать для составляющих наклоняющего и противодействующего моментов следующие равенства:

$$M_{pX_1} = M_p \cos \varphi_1; \quad (13)$$

$$M_{pY_1} = M_p \sin \varphi_1; \quad (14)$$

$$M_{RX} = M_R \cos \varphi = RY; \quad (15)$$

$$M_{RY} = M_R \sin \varphi = RX, \quad (16)$$

где  $Y, X$  — расстояние между осями, соответственно  $O_1X_1$  и  $OX$ ,  $O_1Y_1$  и  $OY$ .

Составляющим наклоняющего и противодействующего моментов соответствуют равные и противоположно направленные составляющие восстанавливающих моментов, для которых можно записать следующие выражения [2], [3]:

$$M_{вX_1} = M_{pX_1} = [\gamma(I_X + SY^2) - Ga] \theta_1 + \gamma SXY \psi_1; \quad (17)$$

$$M_{вY_1} = M_{pY_1} = [\gamma(I_Y + SX^2) - Ga] \psi_1 + \gamma SXY \theta_1; \quad (18)$$

$$M_{вX} = M_{RX} = (\gamma I_X - Ga) \theta; \quad (19)$$

$$M_{вY} = M_{RY} = (\gamma I_Y - Ga) \psi, \quad (20)$$

где  $\gamma$  — удельный вес воды, тс/м<sup>3</sup>;

$I_X, I_Y$  — главные центральные моменты инерции площади ватерлинии относительно осей, соответственно  $OX$  и  $OY$ ;

$S$  — площадь ватерлинии;

$G$  — вес плитки с учетом утапливающей силы  $R$ ;

$a$  — расстояние между центром величины и центром тяжести плитки;

$\theta_1, \psi_1$  — углы поперечного и продольного наклона плитки относительно осей соответственно  $O_1X_1$  и  $O_1Y_1$ .

$\theta, \psi$  — углы поперечного и продольного наклона относительно осей соответственно  $OX$  и  $OY$ .

Решая выражения (17) относительно угла  $\theta$ , (18) — относительно угла  $\psi$ , (19) — относительно угла  $\theta$  и (20) — относительно угла  $\psi$ , получим

$$\theta_1 = \frac{M_{pX_1} - \gamma SXY \psi_1}{\gamma(I_X + SY^2) - Ga}; \quad (21)$$

$$\psi_1 = \frac{M_{pY_1} - \gamma SXY \theta_1}{\gamma(I_Y + SX^2) - Ga}; \quad (22)$$

$$\theta = \frac{M_{RX}}{\gamma I_X - Ga}; \quad (23)$$

$$\psi = \frac{M_{RY}}{\gamma I_Y - Ga}. \quad (24)$$

Приравнивая значения углов  $\theta_1 = \theta$  и  $\psi_1 = \psi$  в выражениях (21) ÷ (24), а также учитывая равенства (13) ÷ (16) и горизонтальное положение, которое заняла наплавная плитка в результате совместного действия наклоняющего и противодействующего моментов, получим следующие кубические уравнения:

$$Y^3 + Y \frac{Gh}{\gamma S} - \frac{M_p Gh}{\gamma SR} \cos \varphi_1 = 0; \quad (25)$$

$$X^3 + X \frac{GH}{\gamma S} - \frac{M_p GH}{\gamma SR} \sin \varphi_1 = 0, \quad (26)$$

где  $h = \frac{\gamma I_X}{G} - a$  — поперечная метацентрическая высота;

$H = \frac{\gamma I_Y}{G} - a$  — продольная метацентрическая высота.

Уравнения (25) и (26) имеют по одному действительному решению, так как значение дискриминанта положительное

$$g^2 + p^3 > 0,$$

где  $g$  и  $p$  — коэффициенты кубических уравнений.

Для уравнения (25)

$$g = \frac{M_p Gh}{\gamma SR} \cos \varphi_1; \quad (27)$$

$$p = \frac{Gh}{\gamma S}. \quad (28)$$

Для уравнения (26)

$$g = - \frac{M_p GH}{\gamma SR} \sin \varphi_1; \quad (29)$$

$$p = \frac{GH}{\gamma S}. \quad (30)$$

Подставляя в подкоренные выражения формулы Кардана значения коэффициентов кубических уравнений, получим

$$Y = \sqrt[3]{\frac{M_p Gh}{2\gamma SR} \cos \varphi_1 + \sqrt{\left(\frac{M_p Gh}{2\gamma SR} \cos \varphi_1\right)^2 + \left(\frac{Gh}{3\gamma S}\right)^3}} + \sqrt[3]{\frac{M_p Gh}{2\gamma SR} \cos \varphi_1 - \sqrt{\left(\frac{M_p Gh}{2\gamma SR} \cos \varphi_1\right)^2 + \left(\frac{Gh}{3\gamma S}\right)^3}}; \quad (31)$$

$$X = \sqrt[3]{\frac{M_p GH}{2\gamma SR} \sin \varphi_1 + \sqrt{\left(\frac{M_p GH}{2\gamma SR} \sin \varphi_1\right)^2 + \left(\frac{GH}{3\gamma S}\right)^3}} + \sqrt[3]{\frac{M_p GH}{2\gamma SR} \sin \varphi_1 - \sqrt{\left(\frac{M_p GH}{2\gamma SR} \sin \varphi_1\right)^2 + \left(\frac{GH}{3\gamma S}\right)^3}}. \quad (32)$$

Формулы (31) и (32) дают возможность найти на опорной наплавной плитке точку, при закреплении в которой шейки донной опоры или выноса будет обеспечено горизонтальное положение плитки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. М., 1956. [2]. Семенов-Тянь-Шанский В. В. Статика и динамика корабля. Л., 1960. [3]. Шараев Г. И. Неравнообъемное наклонение наплавных конструктивных эле-

ментов лесозадерживающих сооружений. — Сб. научно-исследовательских работ «Лесозаготовки и лесотранспорт», СТИ. Красноярск, 1973. [4]. Шульц Г. Ф. Гибкие продольные запаны (проектирование, строительство и эксплуатация). М., 1955.

Поступила 8 июля 1974 г.

УДК 634.0.378.3

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БРЕВЕН В ПОПЕРЕЧНОЙ ЩЕТИ

В. Я. ХАРИТОНОВ

Архангельский лесотехнический институт

Воздействие на одно бревно в поперечной щети передается всем бревнам через зону разрежения. Увлекаемое внешней силой крайнее бревно увлекает за собой всю щеть. Выведены зависимости для определения скорости движения бревен в щети, когда она находится в свободном состоянии, под действием скорости течения, под действием внешней силы или под совместным действием этих сил. Полученные зависимости рекомендуются для использования при проектировании лесосплавных механизмов и в технологических расчетах.

Экспериментальными исследованиями [2] установлена зависимость силы сопротивления буксировке по воде поперечной щети от числа бревен в щети. С увеличением числа бревен сопротивление сначала уменьшается, достигает минимума у щети из 5 бревен (67% от сопротивления одного бревна), а затем увеличивается. Поперечная щеть из 10—11 бревен имеет сопротивление, равное сопротивлению одного бревна. Существенное влияние на сопротивление, например, двух бревен, расположенных тандемом (одно за другим), оказывает интервал между ними. С увеличением интервала общее сопротивление двух бревен возрастает.

Анализ результатов, полученных при исследовании обтекания безграничным потоком цилиндров, расположенных тандемом [1], показывает, что в характере взаимодействия цилиндров и плавающих в поперечной щети бревен много общего.

С некоторым упрощением физическую картину взаимодействия бревен можно представить следующим образом. За первым бревном в щети и каждым последующим создается зона завихрения с пониженным давлением (зона разрежения). Бревна, находящиеся в этой зоне, не испытывают сопротивления формы, а наоборот — каждое последующее бревно стремится приблизиться к предыдущему. Однако сила гидравлического сопротивления трения действует на каждое бревно против направления движения.

Динамическое равновесие установится тогда, когда сила разрежения за бревном

$$R_p = C_p \rho S \frac{v_0^2}{2} \quad (1)$$

будет равна силе трения, действующей на всю поперечную щеть за первым бревном,

$$R_f = C_f \rho n d_0 l_0 \frac{v^2}{2}. \quad (2)$$

В этих формулах  $R_p$  и  $R_f$  — соответственно сила разрежения за первым бревном и сила трения, действующая на щеть;

$\rho$  — плотность воды;  
 $S$  — миделевое сечение бревна;

$$S = l_0 t;$$

$v_0$  — скорость буксировки;

$d_0$ ,  $l_0$  и  $t$  — соответственно средний диаметр, длина и осадка бревен в щети;

$n$  — число бревен, удерживающихся за первым бревном;

$C_p$  — коэффициент лобового сопротивления бревна в щети;

$C_f$  — коэффициент сопротивления трения бревен.

Приравняв правые части формул (1) и (2), получим

$$n = \frac{C_p}{C_f} \frac{S}{d_0 l_0}. \quad (3)$$

Если принять  $S \approx d_0 l_0$ ,  $C_p = 0,22$  [1] и  $C_f = 0,025$  (по данным ЦНИИЛесосплава), то получим  $n \approx 9$ , что весьма близко к приведенным, а также к данным В. И. Кокарева [3], по которым за вертикально погруженной в поток пластиной удерживается от 5 до 12 бревен.

В практике лесосплава все шире начинают применять устройства с использованием зоны разрежения за плохобтекаемым телом, в том числе для поштучного разделения бревен\*. Поэтому надо знать поведение бревен в поперечной щети при создании зоны разрежения. Ниже рассматриваются некоторые случаи взаимодействия бревен в щети.

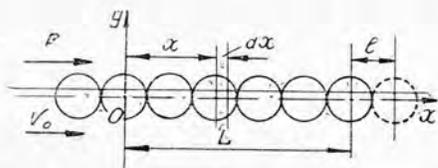


Рис. 1.

Расположим оси координат, как показано на рис. 1, и предположим, что в общем случае на поперечную щеть действует поток со скоростью  $v_0$  и внешняя сила  $F$  (например, от ускорителя). В начальный момент времени щеть находится в напряженном состоянии, но в покое. Затем под действием какой-то силы (например, разрежения) первое бревно в щети перемещается на расстояние  $l$  со средней скоростью  $v_0$ . Это перемещение оказывает влияние на все бревна в щети.

Уравнение движения бревна, расположенного на расстоянии  $L - x$ , имеет вид

$$(m_0 + \lambda_x) v dv = R_p dx - R_f dx, \quad (4)$$

где  $m_0$  — масса бревна;

$$m_0 = \rho_0 \frac{\pi d_0^2}{4} l_0;$$

$\lambda_x$  — присоединенная масса воды. Если бревно близко по форме к цилиндру, то можно принять

$$\lambda_x \approx m_0;$$

\* Харитонов В. Я. Устройство для поштучной подачи бревен на воде. Авторское свидетельство на изобретение № 338471.

$v$  — мгновенная скорость движения бревна;  
 $\rho_6$  — плотность бревна;  
 $R_p$  — сила разрезания

$$R_p = C_p \rho S \frac{(v - v_0 - \bar{v}_f)^2}{2}; \quad (5)$$

$R_f$  — сила сопротивления трения, препятствующая движению последующего бревна за предыдущим,

$$R_f = C_f \rho \frac{d_6 l_6 (v - v_0 - \bar{v}_f)^2}{2}, \quad (6)$$

в этих формулах  $\bar{v}_f$  — осредненная скорость потока, воздействие которого на бревно эквивалентно силе  $F$ .

Для того чтобы решить уравнение (4), надо вначале получить зависимость для определения скорости  $\bar{v}_f$ . Допуская, что сила  $F$  действует на бревно постоянно, составим уравнение движения бревна в спокойной воде под действием этой силы в предположении, что сопротивление формы отсутствует, так как бревно располагается в поперечной щети,

$$M \frac{dv}{dt} = F - r_f v^2. \quad (7)$$

Решаем это уравнение

$$t = \frac{M}{r_f} \int_0^{v_f} \frac{dv}{\frac{F}{r_f} - v^2}.$$

здесь

$$M = m_6 + \lambda_x;$$

$$r_f = \frac{1}{2} C_f \rho d_6 l_6.$$

По физическому смыслу

$$v < \frac{F}{r_f}.$$

Обозначим

$$\frac{F}{r_f} = f^2,$$

тогда

$$t = \frac{M}{f r_f} \operatorname{Arth} \frac{v_f}{f} \quad (8)$$

или

$$v_f = f \operatorname{th} \frac{f t r_f}{M}. \quad (9)$$

В целях упрощения решения уравнения движения вместо переменного значения  $v_f$  примем в расчет осредненное его значение

$$\bar{v}_f = \frac{\int_0^{t_0} v_f dt}{t_0},$$

здесь  $t_6$  — продолжительность времени движения первого бревна

$$t_6 = \frac{l}{v_6}.$$

При поштучной подаче можно принимать  $l = d_6$  (рис. 1). Используя выражение (8), получим

$$\bar{v}_f = \frac{1}{t_6} \ln \operatorname{ch} \frac{f t_6 r_f}{M}. \quad (10)$$

Обозначим

$$r_p = \frac{1}{2} C_p \rho S; \quad (11)$$

В общем случае движение бревна следует разделить на два этапа: 1-й — скорость бревна растет от 0 до  $(v_0 + \bar{v}_f)$ ; 2-й — скорость бревна больше  $(v_0 + \bar{v}_f)$ .

Поскольку до момента начала движения первого бревна щель находится в напряженном (сжатом) состоянии под действием потока и силы  $F$ , а разрежение в щель передается с большой скоростью (одного порядка со скоростью звука в воде), то влияние первого этапа на характер движения бревен незначительно. Поэтому в расчет примем только второй этап, для которого уравнение движения (4) после подстановки выражений (5), (6), (11) и преобразований примет вид

$$Mv dv = (r_p - r_f) (v - v_0 - \bar{v}_f)^2 dx.$$

Решение его имеет вид

$$x = \frac{M}{r_p - r_f} \left[ \ln (v - v_0 - \bar{v}_f) - \frac{v_0 + \bar{v}_f}{v - v_0 - \bar{v}_f} \right] + C.$$

Постоянную интегрирования  $C$  найдем при  $x = L$ , когда  $v = v_6$ .

Опуская несложные выкладки, обозначив  $L_{щ} = L - x$  и вводя эмпирический коэффициент  $\beta$ , окончательно получим

$$L_{щ} = \beta \frac{M}{r_p - r_f} \left[ \ln \frac{v_6 - (v_0 + \bar{v}_f)}{v - (v_0 + \bar{v}_f)} + \frac{(v_0 + \bar{v}_f)(v_6 - v)_к}{(v_6 - v_0 - \bar{v}_f)(v - v_0 - \bar{v}_f)} \right]. \quad (12)$$

По этой формуле можно определить расстояние  $L_{щ}$  от первого бревна в щели до сечения, в котором скорость бревна равна  $v$ , причем следует принимать

$$v_6 > v > (v_0 + \bar{v}_f).$$

По формуле (12) подбором или графо-аналитически можно определить и скорость бревна на расстоянии  $L_{щ}$  от начала щели.

Численная величина коэффициента  $\beta$ , очевидно, меньше единицы, так как бревна в поперечной щели обычно имеют разные размеры, кривизну и т. д.

На практике требуется выполнять технологические расчеты, связанные с подачей бревен по воде к механизмам (сортировочно-слоточным, выгрузочным и т. д.) в различных условиях.

Случай 1-й:  $v_0 = 0$ ;  $F = 0$ . Формула (12) примет вид

$$L_{щ} = \beta_1 \frac{M}{r_p - r_f} \ln \frac{v_6}{v}, \quad (13)$$

откуда

$$v = v_0 e^{-L_{щ} \frac{r_p - r_f}{\beta_1 M}}. \quad (14)$$

Теоретически, из анализа выражения (13),  $v_0 = 0$  при  $L_{щ} = \infty$ .  
Случай 2-й:  $v_0 \neq 0$ ;  $F = 0$ . Из формулы (12) получаем

$$L_{щ} = \beta_2 \frac{M}{r_p - r_f} \left[ \ln \frac{v_0 - v}{v - v_0} + \frac{v_0 (v_0 - v)}{(v_0 - v_0) (v - v_0)} \right]. \quad (15)$$

В расчетах по формуле (15) следует задаваться скоростью  $v$  в границах  $v_0 > v > v_0$ .

Случай 3-й:  $v_0 = 0$ ;  $F \neq 0$ . При этих условиях

$$L_{щ} = \beta_3 \frac{M}{r_p - r_f} \left[ \ln \frac{v_0 - \bar{v}_f}{v - \bar{v}_f} + \frac{\bar{v}_f (v_0 - v)}{(v_0 - \bar{v}_f) (v - \bar{v}_f)} \right]. \quad (16)$$

Границы применения формулы:  $v_0 > v > \bar{v}_f$ .

Полученные расчетные зависимости могут быть использованы при разработке конструкций лесосплавных механизмов и в технологических расчетах для выяснения, например, необходимости применения принудительного продвижения щети к механизмам, при определении длины пути продвижения, места установки ускорителя, скорости продвижения и т. д. До уточнения в приближенных расчетах можно принимать:  $C_p = 0,22$ ;  $C_f = 0,025$ ;  $\rho = 102 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ;  $\rho_0 = 82 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ;  $\beta = 0,5$ .

Для 1-го случая при  $d_0 = 0,2 \text{ м}$ ;  $l_0 = 6,0 \text{ м}$ ;  $\gamma_0 = 0,8$ ;  $v_0 = 1,0 \text{ м/с}$ ;  $M = 30,8 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}$ ;  $r_p = 10,7 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$ ;  $r_f = 1,5 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$  приводим значения скорости движения бревен в разных сечениях поперечной щети; при  $L_{щ} = 0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0$  и  $10,0 \text{ м}$   $v$  равна соответственно  $1,0; 0,74; 0,55; 0,30; 0,17; 0,05$  и  $0,002 \text{ м/с}$ .

При тех же исходных данных по формуле (17) определим длину участка щети, на котором обеспечивается скорость движения бревен не менее  $v = 0,5 \text{ м/с}$  при  $v_0 = 0,2 \text{ м/с}$  (случай 2-й).

$$L_{щ} = 0,5 \frac{30,8}{10,7 - 1,5} \left[ \ln \frac{1,0 - 0,2}{0,5 - 0,2} + \frac{0,2(1,0 - 0,5)}{(1,0 - 0,2)(0,5 - 0,2)} \right] = 2,3 \text{ м}.$$

Аналогично можно выполнять расчеты и по другим зависимостям.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Девнин С. И. Аэрогидродинамический расчет плохобтекаемых судовых конструкций. Л., «Судостроение», 1967. [2]. Донской И. П. Механизация продвижения бревен на рейдах. М.—Л., Гослестехиздат, 1947. [3]. Кокарев В. И. Местное гашение скорости течения на лесосплавных рейдах при помощи подвижного пластинчатого гасителя. М.—Л., Гослесбуиздат, 1958.

Поступила 21 января 1975 г.

УДК 634.0.378.34

## К РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ВЕСА И ЗАПАСА ПЛАВУЧЕСТИ ПУЧКА ЛЕСА К ЕГО ОБЪЕМУ

П. А. МЕРКУРОВ

СевНИИП

Дан вывод уравнения для определения коэффициента, учитывающего, что отношение осадки к высоте пучка леса непропорционально его объемному весу. Данный коэффициент входит в основные уравнения при определении общего переводного коэффициента при определении объема круглых лесоматериалов в пучках на воде отдельно по весу и запасу плавучести.

Для лесосплавных предприятий, в частности, для Северодвинского бассейна, нами установлена возможность обмера круглых лесоматериалов в пучках на воде отдельно по весу

$$V_{\text{в}} = \alpha_1 P_1 \quad (1)$$

и запасу плавучести [3]

$$V_{\text{з.п}} = \alpha_2 P_2, \quad (2)$$

где  $V_{\text{в}}$  и  $V_{\text{з.п}}$  — объемы пучка, вычисленные по весу и запасу плавучести;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — коэффициенты перехода к табличному объему по ГОСТу 2708—44;

$P_1$  и  $P_2$  — вес и запас плавучести пучка.

Для определения объема пучков круглых лесоматериалов указанными способами переводные коэффициенты по сортаментам можно определить по уравнениям

$$\alpha_1 = \frac{\sum_{i=1}^n V_{\text{г}}}{\sum_{i=1}^n P_1}; \quad (3)$$

$$\alpha_2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_{\text{г}}}{\sum_{i=1}^n P_2}, \quad (4)$$

где  $\sum_{i=1}^n V_{\text{г}}$  — суммарный объем партии пучков, вычисленный по ГОСТу 2708—44;

$\sum_{i=1}^n P_1$  и  $\sum_{i=1}^n P_2$  — суммарный вес и суммарный запас плавучести партии пучков.

При замере в статике без учета систематической ошибки прибора переводные коэффициенты выражаются уравнениями

$$\alpha_1 = \frac{\beta K_B}{\gamma_d}, \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \frac{\beta K_C}{\gamma_B - \gamma_d}, \quad (6)$$

где  $\beta$  — коэффициент, учитывающий наличие коры, припуск и форму бревен в пучке;  
 $\gamma_d$  — объемный вес пучка древесины;  
 $K_B$  — коэффициент, учитывающий наличие воды в пучке в момент его взвешивания;  
 $\gamma_B$  — удельный вес воды;  
 $K_C$  — поправочный коэффициент, учитывающий силу влечения пучка водным потоком.

Определение коэффициентов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  по уравнениям (3) и (4) — операция трудоемкая, так как в этом случае необходим поштучный замер бревен по таблице ГОСТа 2708—44. Поэтому для практического нахождения коэффициентов мы применяли следующие зависимости:

$$\alpha_1 = \frac{\beta K_B}{\varepsilon \frac{T}{H}}; \quad (7)$$

$$\alpha_2 = \frac{\beta K_C}{\gamma_B - \varepsilon \frac{T}{H}}, \quad (8)$$

где  $T$  и  $H$  — осадка и высота свободного плавающего пучка леса;  
 $\varepsilon$  — коэффициент, учитывающий, что отношение осадки к высоте пучка непропорционально его объемному весу.

Поправочный коэффициент  $\beta$  для данного рейда — величина постоянная и в зависимости от породы и сортимента древесины может быть определена по методике, предложенной В. А. Лебедевым [1]. Коэффициент  $K_B$  можно найти в зависимости от осадки и высоты пучка также по методике В. А. Лебедева [2]. Коэффициент  $K_C$  в основном зависит от конструкции кубатурника и скорости течения воды. Практически, как показали исследования, его можно не учитывать.

Коэффициент  $\varepsilon$  можно определить следующим образом. Известно, что объемный вес плавающего тела, имеющего форму параллелепипеда, равен отношению осадки к его высоте, то есть

$$\gamma_d = \frac{P_1}{V} = \frac{V_n \gamma_B}{V} = \frac{ST \gamma_B}{SH} = \frac{T}{H} \gamma_B, \quad (9)$$

где  $P_1$  — вес плавающего тела;  
 $V$  — объем тела;  
 $V_n$  — объем погруженной части тела;  
 $S$  — площадь по диаметральной плоскости тела;  
 $T$  — осадка тела (пучка);  
 $H$  — высота тела (пучка).

При  $\gamma_B = 1,0 \text{ т/м}^3$  формула (9) имеет вид

$$\gamma_d = \frac{T}{H}.$$

Но так как пучок леса имеет форму не параллелепипеда, а близкую к цилиндру эллиптического сечения, то

$$\gamma_d = \varepsilon \frac{T}{H}. \quad (10)$$

Таким образом, физический объем плавающего пучка можно выразить так:

$$V_{\Phi} = \frac{P_1}{\gamma_{\text{д}}} = \frac{P_1}{\varepsilon \frac{T}{H}} \quad (11)$$

или

$$V_{\Phi} = \frac{P_2}{\gamma_{\text{в}} - \gamma_{\text{д}}} = \frac{P_2}{V_{\text{в}} - \varepsilon \frac{T}{H}}. \quad (12)$$

Преобразовывая уравнение (10), получим

$$\varepsilon = \frac{\gamma_{\text{д}} H}{T} = \frac{\frac{P_1}{V_{\Phi}} H}{T} = \frac{V'_{\text{п}} \gamma_{\text{в}} H}{V_{\Phi} T} = \frac{\gamma_{\text{в}} S_1 L H \eta}{S_{\text{общ}} L T \eta} = \frac{S_1 H}{S_{\text{общ}} T} \gamma_{\text{в}}, \quad (13)$$

где  $V'_{\text{п}}$  — объем подводной части пучка;  
 $S_1$  — площадь поперечного сечения подводной части пучка;  
 $\eta$  — коэффициент полндревесности пучка;  
 $L$  — длина пучка;  
 $S_{\text{общ}}$  — площадь поперечного сечения пучка.

При выводе зависимости (13) нами приняты следующие допущения: бревна в пучке имеют одну длину; поперечное сечение пучка по длине и полндревесность его на любом участке постоянны.

Заменяя в уравнениях (11) и (12) коэффициент  $\varepsilon$  его выражением из (13), получим новые формулы для определения физического объема пучка леса:

$$V_{\Phi} = \frac{P_1}{\gamma_{\text{в}} \frac{S_1}{S_{\text{общ}}}}; \quad (14)$$

$$V_{\Phi} = \frac{P_2}{\gamma_{\text{в}} \left(1 - \frac{S_1}{S_{\text{общ}}}\right)}. \quad (15)$$

По формулам (14) и (15) определить объем круглых лесоматериалов в пучках практически сложнее, чем по уравнениям (11) и (12), поэтому ограничимся исследованием последних.

Зависимость для определения коэффициента  $\varepsilon$  в общем виде можно получить следующим образом.

Используя рис. 1, а, находим

$$S_1 = \int_{x_1}^{x_2} \left( \int_{\varphi_1(x)}^{-\frac{C}{B}} dy \right) dx = \int_{x_1}^{x_2} \left[ -\frac{C}{B} - \varphi_1(x) \right] dx;$$

$$S_{\text{общ}} = \int_{x_1}^{x_2} \left( \int_{\varphi_1(x)}^{\varphi_2(x)} dy \right) dx = \int_{x_1}^{x_2} [\varphi_2(x) - \varphi_1(x)] dx.$$

Подставляя полученные выражения  $S_1$  и  $S_{\text{общ}}$  в уравнение (13), найдем зависимость для коэффициента  $\varepsilon$  в общем виде

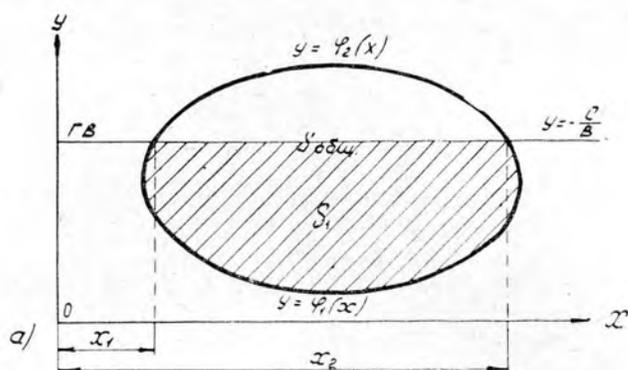
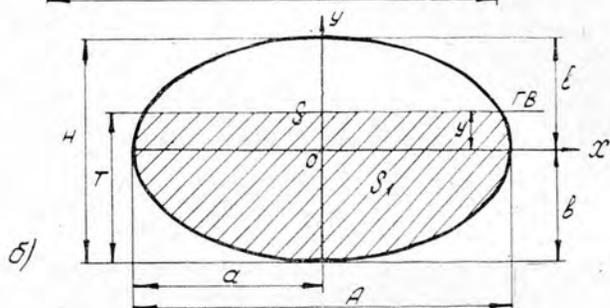


Рис. 1.



$$\varepsilon = \frac{H \int_{x_1}^{x_2} \left[ -\frac{C}{B} - \varphi_1(x) \right] dx}{T \int_{x_1}^{x_2} [\varphi_2(x) - \varphi_1(x)] dx} \quad (16)$$

В частном случае для пучка леса, близкого по форме к эллиптическому цилиндру, для определения  $\varepsilon$  можно использовать уравнение эллипса, каноническое уравнение которого имеет вид

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (17)$$

где  $a$  и  $b$  — полуоси эллипса.

Площадь поперечного сечения подводной части пучка

$$S_1 = \frac{\pi ab}{2} + 2 \int_0^y x dy. \quad (18)$$

Из уравнения (17)

$$x = \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y^2}.$$

Подставляя выражение  $x$  в уравнение (18), после интегрирования и некоторых преобразований получим

$$S_1 = \frac{\pi ab}{2} + ab \arcsin \frac{y}{b} + yx. \quad (19)$$

Из рис. 1, б следует, что

$$y = T - b; \quad x = \frac{a}{b} T \sqrt{\frac{2b}{T} - 1}.$$

Подставляя  $x$  и  $y$  в уравнение (19) и заменяя  $a = c'b$ ,  $b = \frac{H}{2}$ , после незначительных преобразований получим в окончательном виде формулу площади поперечного сечения подводной части пучка

$$S_1 = \frac{C'H^2}{4} \left[ \frac{\pi}{2} + \arcsin \left( \frac{2T}{H} - 1 \right) + \frac{2T}{H} \left( \frac{2T}{H} - 1 \right) \sqrt{\frac{H}{T} - 1} \right], \quad (20)$$

где  $C'$  — соотношение полуосей (осей) пучка.

Площадь поперечного сечения пучка, то есть эллипса,

$$S_{\text{общ}} = \pi ab = \pi C'b^2 = \frac{\pi}{4} C'H^2. \quad (21)$$

Подставляя в уравнение (13) выражение площадей  $S_1$  и  $S_{\text{общ}}$  из (20) и (21) и заменяя  $\frac{T}{H} = m$ , после некоторых преобразований получим формулу для коэффициента  $\varepsilon$

$$\varepsilon = \frac{\gamma_b}{\pi m} \left[ \frac{\pi}{2} + \arcsin(2m - 1) + \xi m(2m - 1) \sqrt{\frac{1}{m} - 1} \right]. \quad (22)$$

Для проверки найденной зависимости (22) и уточнения коэффициентов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  нами проведены экспериментальные исследования, результаты которых будут опубликованы отдельно.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Лебедев В. А. Методика расчета поправочных коэффициентов для перевода фактически замеренной кубатуры в табличную. — Сборник трудов по лесосплаву № 7. М., «Лесная промышленность», 1966. [2]. Лебедев В. А. Исследование некоторых вопросов определения кубатуры круглых лесоматериалов гидростатическими кубатурниками. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., изд. ЛТА, 1968. [3]. Меркуров П. А. Результаты исследования по определению объема круглых лесоматериалов в пучках отдельно по весу и запасу плавучести. Вторая научно-техническая конференция по лесосплаву 22—24 марта, ЦНИИЛесосплава, 1972.

Поступила 18 октября 1973 г.

УДК 634.0.377.7

## ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕПЯТСТВИЙ ДВИЖЕНИЮ ЛЕСОТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСЕК

С. Г. КОСТОГРЫЗ, И. П. КОВТУН

Хмельницкий технологический институт, Львовский лесотехнический институт

Обоснована необходимость вероятностного анализа параметров пней как препятствий движению лесотранспорта в условиях лесосек. Исследованы и установлены законы распределения плотностей вероятностей для высот, диаметров пней и расстояний между ними, а также корреляционная связь между этими параметрами. Приведены численные статистические данные применительно к лесосекам лесостепной зоны УССР.

Характерная особенность движения лесосечного транспорта заключается в преодолении сосредоточенных препятствий, преимущественно пней. Проезд через пни сопровождается значительными пере-

грузками ходовой системы, трансмиссии, двигателя. При этом снижаются рабочие скорости движения, падает производительность, повышается расход топлива. Проблема взаимодействия лесотранспортных машин с сосредоточенными препятствиями заслуживает внимания, а решение ее создает предпосылки для повышения надежности, долговечности, производительности, экономичности и других показателей лесотранспортных машин. Частично она уже решается с применением детерминистических методов [3], [5].

В настоящее время в немногочисленной литературе, посвященной взаимодействию транспортных машин с пересеченной местностью, весьма настойчивый акцент делается на целесообразности применения вероятностных методов к решению проблемы оценки движения таких машин [1]. Если детерминированный подход к описанию процесса взаимодействия машины с препятствием отвечает некоторым единичным условиям (вполне определенные параметры машины, характеристики препятствия и т. п.), то вероятностный подход соответствует всему возможному разнообразию условий (параметров машины, параметров препятствий). Отсюда очевидны преимущества вероятностных методов.

Разработка вероятностных методов решения проблемы взаимодействия лесотранспортных машин с сосредоточенными препятствиями, в первую очередь, предполагает вероятностную оценку основных параметров препятствий. Какие же параметры пней должны быть рассмотрены при этом? Очевидно, что прежде всего те, которые определяют амплитудный спектр возмущающего импульса, поскольку этот спектр, воздействуя на машину, возбуждает в ней вполне определенные спектры нагрузок в механизмах и агрегатах, спектры перемещений, скоростей и ускорений. Текущий амплитудный спектр прямоугольного импульса (рис. 1), которым принято моделировать пень как препятствие [4],

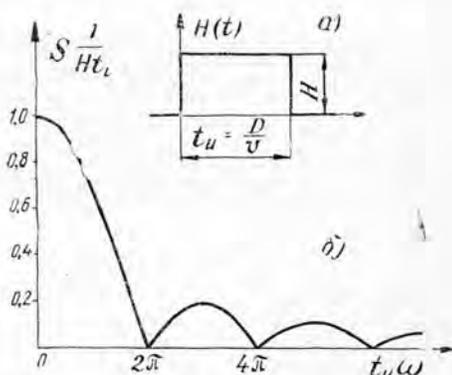


Рис. 1. Идеализация пня прямоугольным импульсом (а) и его амплитудный спектр (б).

$$S_H(\omega) = \frac{2H}{\omega} \left| \sin \frac{\omega t_u}{2} \right|, \quad (1)$$

где  $t_u = \frac{D}{v}$  — длительность импульса;

$D$  — диаметр пня;

$v$  — скорость преодоления препятствия;

$H$  — высота пня;

$\omega$  — круговая частота возмущения.

Следовательно, основными параметрами пней, определяющими амплитудный спектр воздействия на машину, являются их диаметр и высота. Для вероятностного описания характеристик пней принимаем функцию плотности распределения вероятностей. При определении условий выполнения вероятностного анализа параметров пней будем исходить из основных факторов, влияющих на эти параметры. Это,

прежде всего, географическая и климатическая зона, в которой находилось насаждение, его таксационные характеристики, особенности технологии лесоразработок, система рубок, сезон, при котором разрабатывалась лесосека.

Поэтому будет целесообразным вести речь о вероятностных характеристиках пней не какой-то отдельной лесосеки, а совокупности лесосек определенной географической зоны и определенных таксационных характеристик.

В настоящей работе для условий лесосек лесостепной зоны УССР сделана попытка вероятностного описания параметров пней как сосредоточенных препятствий, воздействующих на движущуюся лесотранспортную машину. Исследования проводили на 24 пробных площадях (по 1 га), заложенных на лесосеках после сплошной рубки в сосновом, дубовом и ольховом насаждениях I и II классов бонитета. Исследовано 6 групп лесосек с одинаковыми таксационными характеристиками, по 4 пробные площади в каждой группе. Это число пробных площадей выбирали из соображений, чтобы в одной группе лесосек количество принятых к обмеру пней составляло не менее 1000, и плотности распределения вероятностей диаметров и высот пней получены с вероятностью 0,99 и допустимой ошибкой 0,05.

По материалам обмера пней составлены статистические ряды распределения значений диаметров и высот пней, построены гистограммы и статистические функции распределения (рис. 2). Статистические ряды распределения выравняли по нормальному закону распределения плотностей вероятностей:

а) для диаметров пней

$$f(D) = \frac{1}{\sigma_D \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(D - m_D)^2}{2\sigma_D^2} \right]; \quad (2)$$

б) для высот пней

$$f(H) = \frac{1}{\sigma_H \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(H - m_H)^2}{2\sigma_H^2} \right], \quad (3)$$

где  $\sigma_D$  и  $\sigma_H$  — средние квадратические отклонения соответственно диаметров и высот пней;

$m_D$  и  $m_H$  — математические ожидания диаметров и высот пней.

Численные значения этих величин приведены для каждой из перечисленных групп лесосек в табл. 1 и полностью характеризуют законы распределения вероятностей параметров пней. Проверка гипотез о согласовании теоретических и статистических распределений выполнена по критерию согласия А. Н. Колмогорова [2] и подтверждает приемлемость этих гипотез.

В процессе статистической обработки рядов распределения случайных величин  $D$  и  $H$  установлено, что они коррелированы и зависи-

Хозяйство	Характеристика насаждений до рубки			Статистика	
	Состав насаждения	Класс бонитета	Средний запас на 1 га, м <sup>3</sup>	$m_D$ , см	$\sigma_D$ , см
Сосновое	10С, ед. Д	I	300	30	6,5
	10С, ед. Д	II	217	28	6
Дубовое	9Д1С, ед. Бр	I	380	54	18
	9Д1С	II	240	50	17
Ольховое	7Ол2Б1Ос	Ia	260	24	6
	6Ол2Б2Ос	II	180	20	4,5

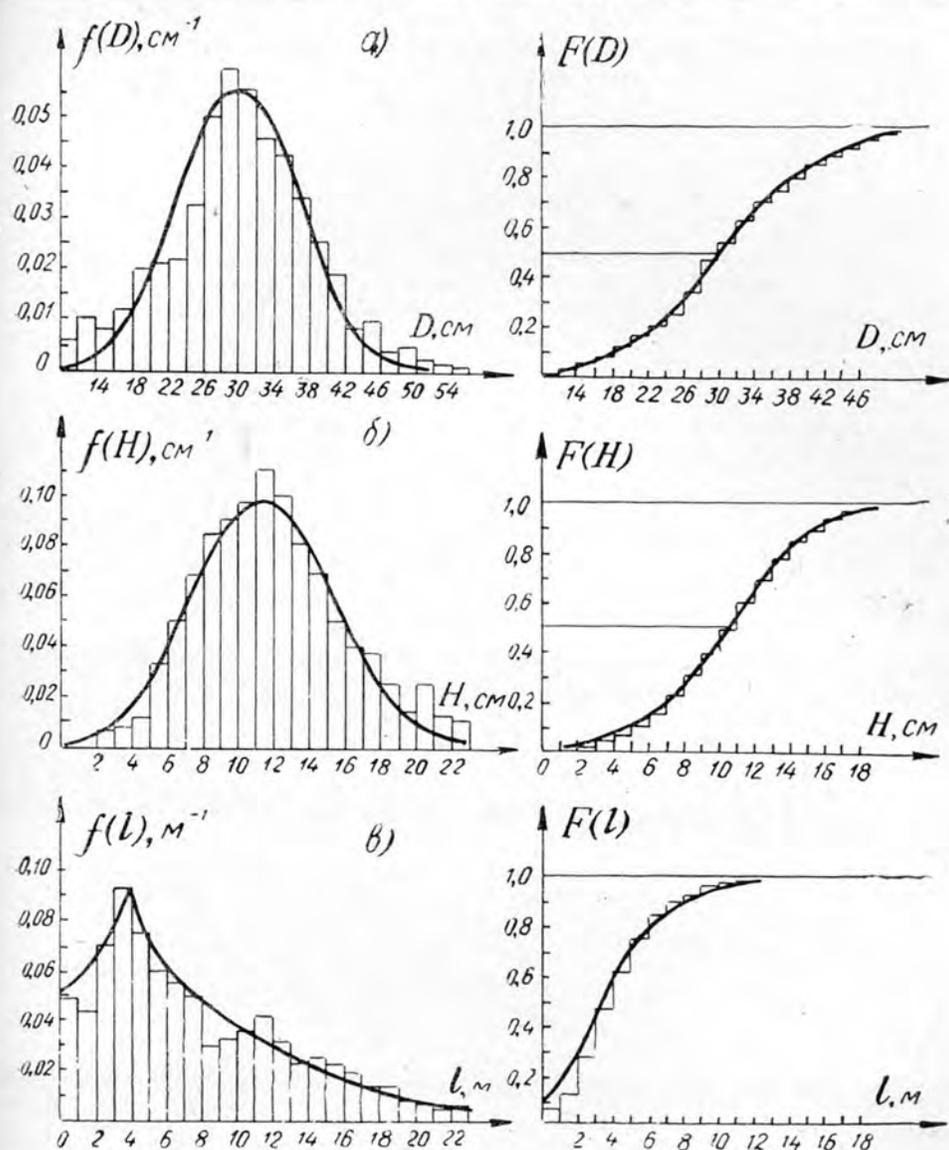


Рис. 2. Гистограммы распределений, графики плотностей вероятностей и функций распределения для диаметров (а), высот пней (б) и расстояний между пнями (в); хозяйство сосновое, I класс бонитета.

Таблица 1

статистические характеристики

$m_H, \text{cm}$	$\sigma_H, \text{cm}$	$r$	$a_0, \text{cm}$	$a_1$	$m_l, \text{m}$	$\sigma_l, \text{m}$
12	4,0	+0,72	4	0,35	12	4
15	4,8	+0,70	2	0,45	20	6
28	6,3	+0,73	6	0,41	—	—
26	5,4	+0,70	4	0,44	—	—
10	3,3	+0,71	2	0,34	—	—
8	3,0	+0,74	2	0,32	—	—

мы. Применение корреляционного анализа позволило получить уравнение регрессии, описывающее корреляционную зависимость диаметров и высот пней, а также коэффициент корреляции  $r$ , оценивающий тесноту связи между ними.

Уравнение регрессии

$$H = a_0 + a_1 D. \quad (4)$$

Во всех случаях отмечена тесная корреляционная связь между высотой и диаметром пня  $r = + (0,7-0,8)$ . Значения коэффициентов регрессии  $a_0$  и  $a_1$  приведены в табл. 1 и свидетельствуют о заметных расхождениях в соотношениях высот и диаметров пней, предполагаемых правилами рубок и существующих в действительности.

Как было показано, каждая из случайных величин  $D$  и  $H$  подчинена нормальному закону распределения; кроме того, они коррелированы. Следовательно, система случайных величин  $D$  и  $H$  будет иметь совместное нормальное распределение вида [2]:

$$f(D, H) = \frac{1}{2\pi \sigma_D \sigma_H \sqrt{1-r^2}} \exp[-A(D, H)], \quad (5)$$

где

$$A(D, H) = \frac{1}{2(1-r^2)} \left[ \frac{(D-m_D)^2}{\sigma_D^2} - \frac{2r(D-m_D)(H-m_H)}{\sigma_D \sigma_H} + \frac{(H-m_H)^2}{\sigma_H^2} \right]. \quad (6)$$

На основании этого закона распределения, используя существующие методы [2], можно определить вероятность нахождения диаметров и высот пней в заданной области, если известны их численные статистические характеристики  $m_D$ ,  $m_H$ ,  $\sigma_D$  и  $\sigma_H$ .

Для оценки возможной интенсивности воздействия пней на движущуюся машину необходимо иметь характеристики распределения расстояний между пнями. Эти расстояния измерялись на опытных лесосеках в направлении рядов посадок лесных культур по колее движения трактора, и в определенной степени характеризуют интенсивность распределения пней по ходу движения машины. При выравнивании статистических рядов плотность распределения вероятностей расстояний между пнями аппроксимирована двухсторонним экспоненциальным законом распределения (Лапласа), рис. 2, в:

$$f(l) = \frac{\lambda_1}{2} \exp[-\lambda_1 |l - l_m|] + \frac{\lambda_2}{5m_1}, \quad (7)$$

где  $\lambda_1 = 0,075$ ;  $\lambda_2 = 0,01$  — коэффициенты пропорциональности;

$m_1$  — математическое ожидание расстояний между пнями;

$$l_m = \frac{1}{3} m_1.$$

Средние расстояния между пнями (см. табл. 1) достаточны для того, чтобы переходный процесс при воздействии пня на машину успел затухнуть до того времени, пока начнется переходный процесс при преодолении следующего препятствия. Поэтому, изучая взаимодействие лесотранспортных машин с такими препятствиями, нет смысла рассматривать данный процесс как периодический.

Приведенные здесь вероятностные закономерности и характеристики параметров пней могут быть использованы для вероятностной оценки процессов взаимодействия лесотранспортных машин с такого рода препятствиями, а также в качестве исходных данных при расчете и проектировании лесопосадочных машин, корчевателей и т. д.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Беккер М. Г. Введение в теорию систем местность—машина. М., «Машиностроение», 1973. [2]. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1969. [3]. Горбачевский В. А. Колесные трелевочно-транспортные машины. М., «Лесная промышленность», 1968. [4]. Иорыш Ю. Н. Виброметрия. М., Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. [5]. Ковалев Ю. Л., Гохман Ш. М. Определение нагрузок на опорные катки подвески трелевочного трактора ТДТ-60. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1966, № 4.

Поступила 24 октября 1974 г.

УДК 625.11

### ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КОЛЕСА ПРИ ПРОХОДЕ СТЫКА

Н. Н. БУТОРИН

Архангельский лесотехнический институт

Методом упругих опор при расчете рельсовой нити в зоне стыка получена формула для определения вертикальных упругих перемещений рельса под проходящим колесом в зоне стыка. Формула может быть использована при исследовании динамических взаимодействий подвижного состава и пути при прохождении стыка.

Для расчетов динамического воздействия подвижного состава на путь при прохождении стыка необходимо знать траекторию колеса. Просадку рельса под колесом можно рассчитать, рассматривая рельс как балку, лежащую на отдельных упруго оседающих опорах — шпалах, по методу, изложенному нами ранее [1]. При этом два рельса в стыке соединяются упругим шарниром. Большой экспериментальный материал по исследованию стыка узкоколейных железных дорог, имеющийся в распоряжении кафедры сухопутного транспорта леса АЛТИ, дает основание утверждать, что при изгибе стыка рельсы и накладки изгибаются самостоятельно, а не как одно целое. Поэтому в расчетную схему надо внести поправку: момент инерции рельсовой нити в стыковом пролете следует считать равным моменту инерции рельса, а не сумме моментов инерции рельса и пары накладок.

Расчетная схема рельсовой нити в зоне стыка показана на рис. 1. Уравнения упругой линии и углов поворота сечений для этой схемы имеют вид

$$Ey = E(y_0 + \varphi_0) + \frac{1}{6l} \sum_k R_k (x - kl)^3 - \frac{P_s}{6l} (x - 6l - l_1 + s)^3; \quad (1)$$

$$Ey' = E\varphi_0 + \frac{1}{2l} \sum_k R_k (x - kl)^2 - \frac{P_s}{6l} (x - 6l - l_1 + s)^2, \quad (2)$$

здесь  $y_0$  и  $\varphi_0$  — просадка и угол поворота сечения рельса на крайней левой опоре;

$R_k$  — реакция  $k$ -той опоры.

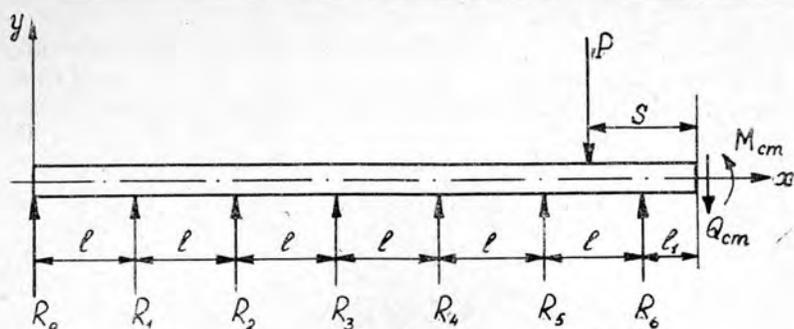


Рис. 1.

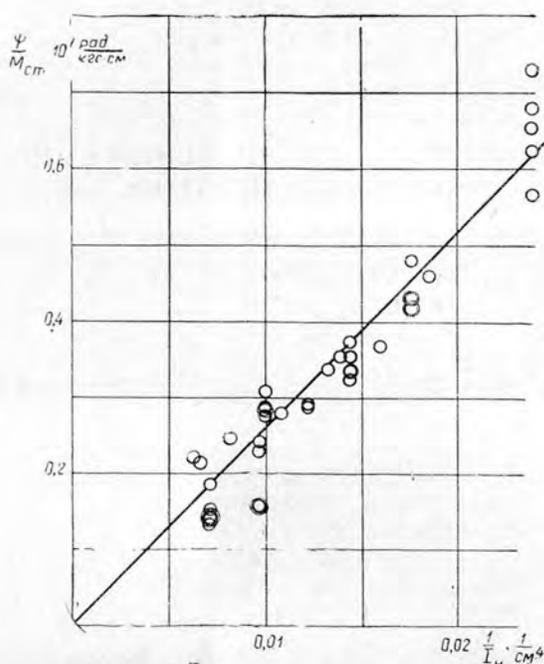


Рис. 2.

В сумму  $\sum_k$  входят реакции всех опор, расположенных слева от сечения  $x$ . Подвижная сила  $P_s$  учитывается только в том случае, когда она расположена левее сечения  $x$ .

Упругость шарнира, заменяющего стык, можно оценить, используя данные лабораторных опытов по изгибу рельсового стыка, лежащего на двух опорах. Таким способом были испытаны 39 вариантов стыков с рельсами Р15, Р18 и Р24 с накладками длиной от 320 до 650 мм и с моментами инерции пары накладок от 41,9 до 161,0 см<sup>4</sup>. Результаты обработки опытных данных приведены на рис. 2.

Опыты хорошо подтверждают положение о том, что угол излома рельсовой нити в стыке прямо пропорционален стыковому изгибающему моменту  $M_{ст}$  и обратно пропорционален моменту инерции пары накладок  $I_N$ , то есть

$$\psi = 0,256 \cdot 10^{-5} \frac{M_{ст}}{I_N}.$$

В уравнении (1) неизвестны семь опорных реакций, просадка и угол поворота сечения рельса на крайней опоре, стыковой изгибающий момент  $M_{ст}$  и поперечная сила  $Q_{ст}$ . Для нахождения неизвестных используем условие пропорциональности реакции просадке на каждой опоре  $R = Dy$ . При этом получим

$$\left. \begin{aligned} Dl \gamma \varphi_0 + (1 - \gamma) R_0 + \gamma R_1 &= 0; \\ 2Dl \gamma \varphi_0 + (8 - \gamma) R_0 + R_1 + \gamma R_2 &= 0; \\ 3Dl \gamma \varphi_0 + (27 - \gamma) R_0 + 8R_1 + R_2 + \gamma R_3 &= 0; \\ 4Dl \gamma \varphi_0 + (64 - \gamma) R_0 + 27R_1 + 8R_2 + R_3 + \gamma R_4 &= 0; \\ 5Dl \gamma \varphi_0 + (125 - \gamma) R_0 + 64R_1 + 27R_2 + 8R_3 + R_4 + \gamma R_5 &= 0; \\ 6Dl \gamma \varphi_0 + (216 - \gamma) R_0 + 125R_1 + 64R_2 + 27R_3 + 8R_4 + R_5 + \\ + \gamma R_6 &= \Gamma_\beta P (\beta - \alpha - 1)^3; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $\beta = \frac{s}{l}$ ;  $\alpha = \frac{l_1}{l}$ ;

$\Gamma_\beta$  — так называемый функциональный прерыватель, то есть функция от аргумента  $\beta$ , принимающая значение  $\Gamma_\beta = 1$ , если  $\alpha < \beta$ , и  $\Gamma_\beta = 0$ , если  $\alpha \geq \beta$ ;

$\gamma = \frac{6EI}{Dl^3}$  — характеристика упругости пути. Для стыковых шпал [1] эта характеристика имеет несколько большую величину; она обозначена через  $\gamma'$ .

Уравнения равновесия в статике имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} R_0 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 &= P + Q_{ст}; \\ 6R_0 + 5R_1 + 4R_2 + 3R_3 + 2R_4 + R_5 &= P(\beta - \alpha) - Q_{ст}\alpha + \frac{M_{ст}}{l}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Просадки торцевых сечений левого и правого рельсов в стыке одинаковы, то есть

$$y_{лев} = y_{прав}; \quad (5)$$

угол излома рельсовой нити в стыке равен сумме углов поворота торцевых плоскостей стыкуемых рельсов

$$y'_{лев} + y'_{прав} = 2\psi. \quad (6)$$

Просадку и угол поворота стыкового сечения правого рельса вычисляют по формулам (1) и (2) с учетом того, что внешняя сила от колеса отсутствует, а поперечная сила  $Q_{ст}$  имеет обратный знак.

Статическую траекторию движения колеса, то есть просадку рельса в том сечении, в котором приложена сила, найдем из уравнения (1), положив в нем  $P_s = 0$ . Все неизвестные, входящие в это уравнение, получатся при совместном решении уравнений (3) — (6).

После всех преобразований получаем следующую формулу:

$$\frac{y}{P} = \frac{l^3}{6EI} \left( C_0 + (\alpha - \beta)(2B_0 + (\alpha - \beta)(A + (\alpha - \beta)(2 + \Gamma_\beta \left( 2 \frac{C_0}{\gamma} + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + (\alpha - \beta) \left( 2 \frac{B_0}{\gamma'} + (\alpha + \beta)^2 \left( \frac{C_0}{\gamma'} - 1 \right) \frac{1}{\gamma'} \right) \right) \right) \right) \right) -$$

$$\frac{(C_0 + \alpha B_0 + (\alpha - \beta)(B_0 + \alpha A + (\alpha + \beta)(\beta + 2\alpha + \Gamma_{\beta}(\alpha - \beta) \left(\frac{C_0}{\gamma'} + \alpha \frac{B_0}{\gamma'}\right)))^2}{2(C_0 + \alpha(2B_0 + \alpha(A + 2\alpha)))} - \frac{(B_0 + (\alpha - \beta)(A + (\alpha - \beta)(3 + \Gamma_{\beta}(\alpha + \beta) \frac{B_0}{\gamma'})))^2}{2A + 12\alpha + 6 \frac{\varphi}{l} \cdot \frac{l}{I_{II}}}. \quad (7)$$

Постоянные коэффициенты  $A$ ,  $B_0$ ,  $C_0$ ,  $\Delta$  находят из таблиц, приведенных в работе [1], или рассчитывают по формулам:

$$A = \frac{1}{\Delta} (\gamma^6 + 882\gamma^5 + 21514\gamma^4 + 71412\gamma^3 + 60429\gamma^2 + 16522\gamma + 1351 + \gamma'(6\gamma^5 + 1834\gamma^4 + 19832\gamma^3 + 34074\gamma^2 + 14650\gamma + 1616));$$

$$B_0 = \frac{1}{\Delta} (21\gamma^5 + 2366\gamma^4 + 17652\gamma^3 + 24939\gamma^2 + 9587\gamma + 989) \gamma';$$

$$C_0 = \frac{1}{\Delta} (91\gamma^5 + 4472\gamma^4 + 22308\gamma^3 + 24904\gamma^2 + 8285\gamma + 780) \gamma';$$

$$\Delta = 91\gamma^5 + 4472\gamma^4 + 22308\gamma^3 + 24904\gamma^2 + 8285\gamma + 780 + \gamma'(105\gamma^4 + 1744\gamma^3 + 3690\gamma^2 + 1776\gamma + 209);$$

$$\varphi = 2EI \frac{\psi}{M_{ст}} = 10,24.$$

Функция (7) определена в пределах стыкового и пристыкового шпальных пролетов.

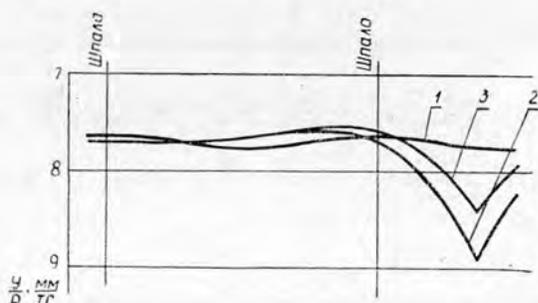


Рис. 3.

На рис. 3 приведены результаты расчета по формуле (7) траектории движения колеса по рельсу Р24 при расстоянии между шпалами в середине звена 70 см и в стыке — 50 см,  $\gamma = 3,0$  и  $\gamma' = 3,3$ . Кривая 1 характеризует траекторию движения колеса в середине звена; 2 — при прохождении стыка с моментом инерции пары накладок 99,2 см<sup>4</sup>; 3 — с моментом инерции 150,4 см<sup>4</sup>.

При исследованиях динамики взаимодействия подвижного состава и пути формула (7) позволяет оценить упругие вертикальные перемещения движущегося колеса с учетом таких параметров рельсовой нити, как моменты инерции рельса и накладок, расстояние между шпалами в стыковом пролете и в середине звена, упругие свойства основания.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Буторин Н. Н. Расчет рельсового стыка по методу упругих опор. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1959, № 4.

УДК 621.311.4

## О НЕЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК ПО РЕАКТИВНОМУ ТОКУ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*И. Б. ПОТАПОВСКИЙ, А. К. ГОРОХОВСКИЙ*

Уральский лесотехнический институт

Дан анализ регуляторов мощности конденсаторных установок по реактивному току применительно к лесопромышленным предприятиям. Сделан вывод, что подобные регуляторы нерационально использовать на подстанциях предприятий лесной промышленности, так как они не способствуют заметному повышению коэффициента мощности.

При современном уровне развития производства на предприятиях лесной промышленности большое внимание уделяется вопросу экономного использования электроэнергии и установленных мощностей подстанций. Проводятся различные мероприятия, способствующие увеличению коэффициента мощности, который в настоящее время является основным показателем эффективности использования электроэнергии.

На лесопромышленных предприятиях для компенсации реактивной мощности и, следовательно, для повышения коэффициента мощности наиболее широкое применение нашли статические конденсаторные установки. Согласно действующему положению [2], правильный режим работы компенсирующих устройств мощностью 100 квар и выше может быть обеспечен при подключении их совместно с регулирующей аппаратурой.

В последние годы на предприятиях лесной промышленности для регулирования мощности конденсаторных установок стали использовать фазорегуляторы типа eBR производства ГДР, реагирующие на величину реактивного тока в нагрузке и знак угла фазового сдвига. Однако, как показали исследования, применение регуляторов подобного типа на лесопромышленных предприятиях не способствует заметному повышению коэффициента мощности. Об этом свидетельствуют данные, полученные в Туринском и Полевском леспромхозах объединения «Свердлеспром». Несмотря на то, что установку регуляторов производили в строгом соответствии с требованиями инструкции, средневзвешенное значение коэффициента мощности удалось повысить от 0,7 до 0,8—0,82, что значительно ниже директивного значения.

Предприятия лесной промышленности относятся к разряду предприятий с резкопеременной нагрузкой, в электрических сетях которых величина тока может претерпевать пятикратные изменения [1]. В силу специфики производства преобладающим режимом электрооборудования является режим холостого хода, поэтому для выявления эффективности использования регуляторов в качестве зависимой переменной следует принять чувствительность регулятора по коэффициенту мощности. Поскольку ток в нагрузке зависит как от величины его активной составляющей, так и от коэффициента мощности, в качестве независимой переменной принимается активный ток.

Регуляторы, реагирующие на величину реактивного тока, формируют команду на включение компенсирующей установки в том случае,

когда величина реактивного тока, потребляемого предприятием, достигнет заданного порогового значения  $I_{pn1}$ , а нагрузка будет представлять сопротивление, носящее индуктивный характер. При некотором опережающем угле фазового сдвига и величине реактивного тока, соответствующего пороговому значению  $I_{pn2}$ , формируется команда на отключение компенсирующей установки. Для исключения возможности перекомпенсации реактивной мощности, что оговаривается в основных положениях по установке компенсирующих устройств [2], должно выполняться условие  $I_{pn2} \ll I_{pn1}$ .

Известно, что

$$I_p = I_a \operatorname{tg} \varphi = I_a \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi},$$

где  $I_p$  — реактивный ток в нагрузке;  
 $I_a$  — активный ток в нагрузке;  
 $\varphi$  — угол фазового сдвига тока в нагрузке относительно напряжения на шинах подстанции.

Отсюда

$$\cos \varphi_{n1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{I_{pn1}^2}{I_a^2}}}; \quad (1)$$

$$\cos \varphi_{n2} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{I_{pn2}^2}{I_a^2}}}, \quad (2)$$

где  $\cos \varphi_{n1}$  — пороговое значение коэффициента мощности, при котором формируется команда на включение конденсаторных батарей;

$\cos \varphi_{n2}$  — пороговое значение коэффициента мощности, при котором формируется команда на отключение конденсаторных батарей.

Значит, ширина зоны нечувствительности регулятора по коэффициенту мощности

$$\Delta \cos \varphi_n = \cos \varphi_{n1} + \cos \varphi_{n2}. \quad (3)$$

Анализируя уравнения (1) — (3), можно сделать вывод, что регуляторам подобного типа присущи следующие характерные свойства:

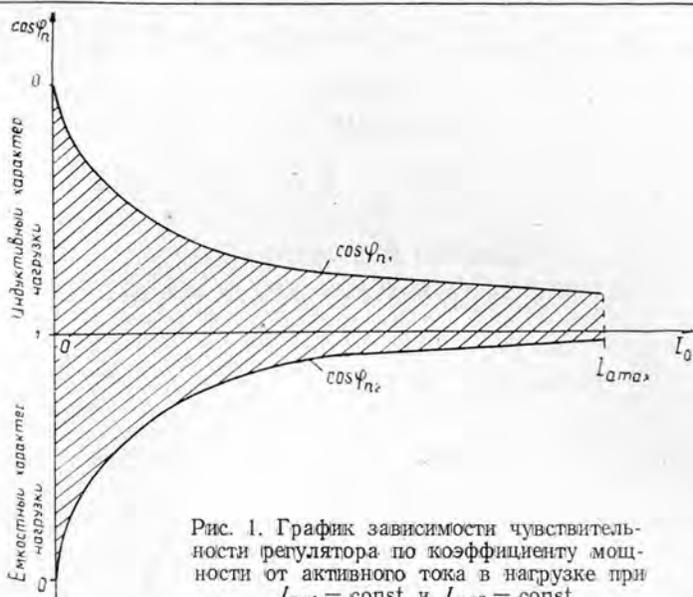
с уменьшением активной составляющей тока в нагрузке чувствительность регулятора по коэффициенту мощности ухудшается;

$\cos \varphi_n = f(I_a)$  представляет монотонно возрастающую зависимость, ограниченную точками  $I_a = 0$ ;  $\cos \varphi_n = 0$  и  $I_a = \infty$ ;  $\cos \varphi_n = 1$ ; характер изменения  $\cos \varphi_n$  при изменении активного тока определяется настройкой регулятора, то есть заранее заданным значением его чувствительности по реактивному току;

с уменьшением активной составляющей тока в нагрузке ширина зоны нечувствительности регулятора по коэффициенту мощности увеличивается;

ухудшение чувствительности регулятора по коэффициенту мощности с уменьшением активного тока в нагрузке наблюдается как при отстающем, так и при опережающем угле фазового сдвига;

в результате ухудшения чувствительности регулятора по коэффициенту мощности с уменьшением  $I_a$  при опережающем угле фазового



сдвига возможны случаи неотключения конденсаторных батарей при емкостном характере нагрузки.

Графическая зависимость регулятора по коэффициенту мощности от активной составляющей тока в нагрузке представлена на рис. 1.

О количественном характере изменения  $\cos \varphi_n$  при изменении  $I_a$  позволяют судить данные, приведенные в табл. 1, где под  $I_{a \text{ ном}}$  подразумевается номинальное значение активного тока в нагрузке.

Таблица 1

$\frac{I_a}{I_{a \text{ ном}}}$	cos $\varphi_n$ при различных начальных значениях, определяемых $\frac{I_a}{I_{a \text{ ном}}} = 1$									
1,0	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9
0,9	0,987	0,978	0,965	0,951	0,94	0,927	0,91	0,9	0,891	0,89
0,8	0,984	0,97	0,95	0,939	0,93	0,91	0,89	0,882	0,867	0,86
0,7	0,978	0,96	0,94	0,927	0,9	0,887	0,866	0,857	0,848	0,83
0,6	0,974	0,951	0,92	0,9	0,88	0,857	0,829	0,819	0,798	0,79
0,5	0,961	0,934	0,89	0,866	0,84	0,809	0,777	0,762	0,739	0,73
0,4	0,939	0,9	0,85	0,8	0,78	0,743	0,7	0,682	0,66	0,64
0,3	0,906	0,838	0,76	0,72	0,67	0,634	0,6	0,573	0,552	0,53
0,2	0,816	0,719	0,63	0,573	0,54	0,469	0,44	0,422	0,4	0,39
0,1	0,587	0,451	0,375	0,342	0,292	0,267	0,258	0,227	0,216	0,2

Изложенное позволяет сделать вывод, что хотя рассматриваемые регуляторы и способствуют значительному ограничению реактивного тока, для лесопромышленных предприятий они неприемлемы. Предприятия, затратив значительные средства, не смогут получить ожидаемого экономического эффекта, так как из-за колебаний активного тока в нагрузке в пределах  $(0,2 \div 1,0) I_{a \text{ ном}}$  не удастся получить высокое средневзвешенное значение коэффициента мощности и тем самым освободить предприятия от выплаты больших штрафов.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Потаповский И. Б., Денисламов В. Д. О применении регуляторов мощности компенсирующих установок по току и по напряжению на подстанциях лесопромышленных предприятий. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974, № 5. [2]. Правила устройства электроустановок. М., «Энергия», 1966.

Поступила 11 декабря 1974 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.5 : 674.093.26

К ВОПРОСУ О СОРТАМЕНТЕ  
ГНУТОКЛЕЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ ИЗ ШПОНА

А. Б. ИЗРАЕЛИТ

Ленинградская лесотехническая академия

Изложены основные теоретические предпосылки построения сортамента гнutoклевых профилей из шпона и разработаны их формы и строение.

Применение гнutoклевых изделий в мебельной промышленности показало их высокую эффективность и привело к снижению расхода древесины и трудоемкости в 1,5—2,5 раза.

Настоящая статья посвящена обоснованию сортамента гнutoклевых профилей из шпона. Профилирование шпона поперек волокон усиливает продольное направление и может обеспечить очень высокую несущую способность в изгибаемых настилах покрытий и перекрытий. При этом часть слоев необходимо укладывать перекрестно для обеспечения поперечной прочности профилей.

Наилучшая конструктивная форма изгибаемых настилов — складчатые сплошные системы. Они дают минимальную строительную высоту, обеспечивают индустриальность монтажных работ и совмещают несущие и ограждающие функции; складчатые элементы можно использовать в сквозных конструкциях, колоннах и стойках. Очертание складки из шпона практически может быть произвольным. В качестве эталонного профиля, хорошо аппроксимирующего любое криволинейное очертание за счет угла наклона боковых граней (рис. 1, а), принимают трапецидальную складку, которая является конструктивно необходимой по условиям прикрепления для сквозных элементов и настилов [3].

С целью экономичного использования материала складчатое сечение оптимизируют по двум направлениям: 1) в выборе наивыгоднейшего по расходу материала очертания складки, которое определяется углом наклона боковых граней  $\psi$ ; 2) в определении наивыгоднейшего распределения материала между полками и стенками изгибаемого профиля.

Рассмотрим первую задачу, выбрав очертание складки, обеспечивающее наибольшую перекрывающую способность при данном расходе материала.

Геометрические характеристики трапецидальной складки определяют по формулам

$$F = \delta^2 \left( \beta + 2\alpha \frac{1 - \sin \psi}{\cos \psi} \right);$$

$$W = \frac{\delta^3}{6(\alpha + 1)} \left[ \beta(1 + 3\alpha^2) + 6\alpha^2 \frac{1 - \sin \psi}{\cos \psi} + 2\alpha \frac{1 - 3 \sin \psi}{\cos \psi} \right], \quad (1)$$

где  $\beta = \frac{b}{\delta}$  и  $\alpha = \frac{h}{\delta}$  — безразмерные геометрические параметры трапецидального профиля.

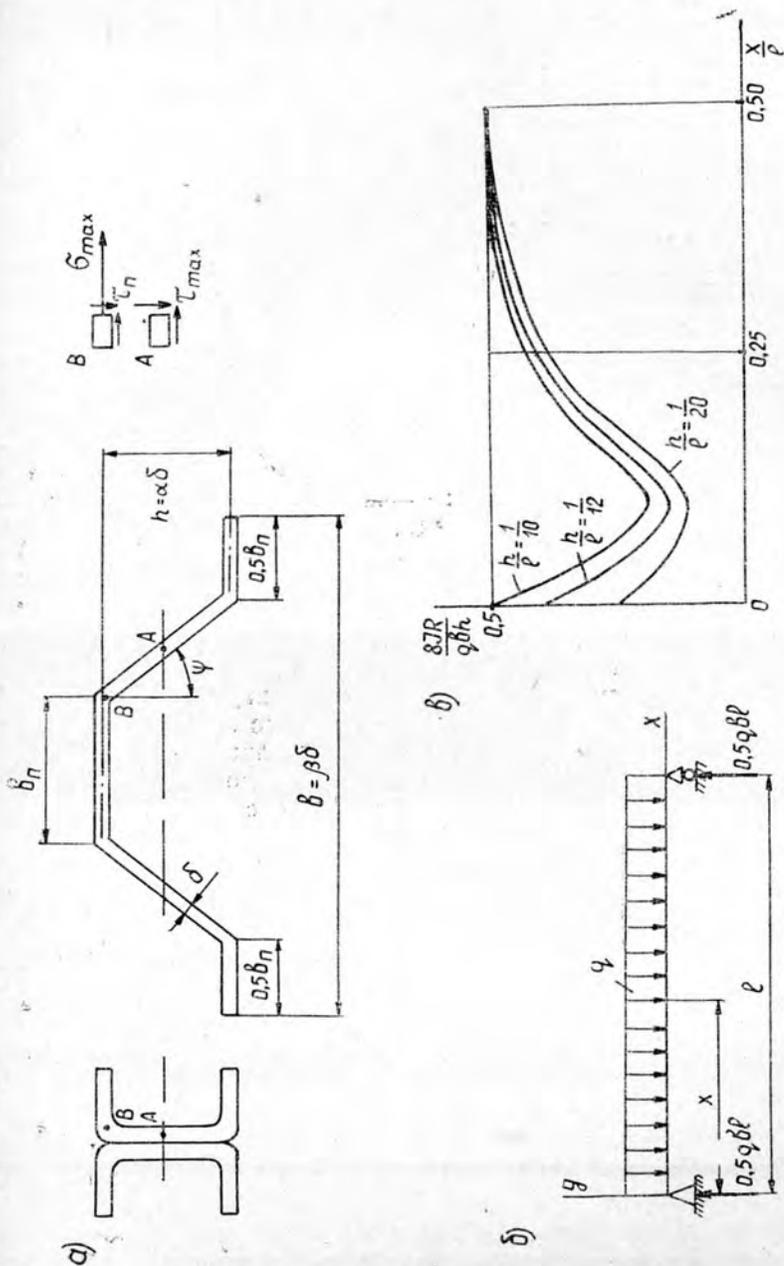


Рис. 1. К оценке напряженного состояния изгибаемого профиля.

Запишем условие прочности для рассматриваемого профиля по максимальным нормальным напряжениям, полагая, что он работает как однопролетная балка, загруженная равномерно распределенной по площади нагрузкой  $q$  (рис. 1, б)

$$\frac{M_{max}}{W} = \frac{qbl^2}{8W} \leq R, \quad (2)$$

здесь  $R$  — расчетное сопротивление материала;

$l$  — пролет балки;

$b$  — ширина балки.

Подставляя в условие прочности значение  $W$  из формулы (1), после алгебраических преобразований получим кубическое неравенство относительно параметра высоты сечения  $\alpha$

$$\alpha^3 \frac{4R\delta^2}{\cos \psi} + \alpha^2 3 \left( \gamma R\delta^2 + q l^2 \frac{1 - \sin \psi}{2 \cos \psi} \right) + \alpha \left[ 4R\delta^2 \frac{1 - \sin \psi}{\cos \psi} - \frac{3q l^2}{4} \left( \frac{\gamma}{2} - \frac{1 - \sin \psi}{\cos \psi} \right) \right] + \gamma \left( R\delta^2 - \frac{3}{4} q l^2 \right) \leq 0, \quad (3)$$

где  $\gamma = 2\alpha \frac{1 - \sin \psi}{\cos \psi} + \beta$  — относительная длина складки.

Неравенство (3) решено на ЭЦВМ «Минск-2» при варьировании одной переменной и фиксировании всех остальных переменных в области их реальных значений.

Результаты показали, что возрастание угла наклона боковых граней складки от 0 до 45° увеличивает ее перекрывающую способность. При угле наклона более 45° реальные решения отсутствуют. Следовательно, наивыгоднейший наклон боковых граней, обеспечивающий максимум перекрываемой площади, соответствует 45°. Такой угол наклона в дальнейшем примем для складчатых трапецидальных профилей.

При решении второй задачи и последующем анализе сопоставим рассматриваемые трапецидальные профили с традиционными сортаментными сечениями швеллерного, уголкового и квадратного типов. Оптимизация распределения материала в сечении профиля определяет его основную экономию. Для осевого нагружения оптимизация сечений определяется условиями их равнопрочного и конструктивного прикрепления. В случае изгиба необходимо установить силовые факторы, определяющие прочность сечения с учетом анизотропии материала.

Рассмотрим открытые гнутоклееные профили, приспособленные к изгибу: трапецидальный и швеллерный; последний может служить основой симметричных двутавровых сечений.

Напряженное состояние оценим по условию прочности для анизотропного материала [1]. Для поперечного изгиба

$$\sigma_{np} = \frac{\sigma^2 + e\tau^2}{\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}} \leq R, \quad (4)$$

здесь  $\sigma_{np}$  — критерий прочности, или приведенное напряжение;

$e = \frac{R}{R_{ск}}$  — отношение расчетного сопротивления материала при осевом нагружении волокон к сопротивлению при скалывании.

Согласно данным [1], для растянутых волокон  $e = 8 \div 11$ , для сжатых  $e = 4,5 \div 5$ . Прочность древесины и шпона на сжатие в 2—2,5 раза меньше, чем на растяжение. Поэтому напряженное состояние в сжатых волокнах изгибаемой балки наиболее опасно, то есть следует принимать  $e = 5$ .

Рассмотрим балку, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой трапецидального двутаврового (из швеллеров) сечения (рис. 1, а, б). Оценим напряженное состояние опасных точек сечения, полагая площади полок и стенок равными, то есть при  $\frac{b}{h} = 0,5$  для швеллера и  $b = \frac{h}{\cos \psi}$  для трапецидального профиля. Влияние поперечных сил на критерий прочности (4) для склеенного шпона значительно

выше, чем для изотропных металлов ( $e = 5$ ). Поэтому рассмотрим две потенциально опасные точки сечения: точку  $A$  на нейтральной оси балки, где действуют максимальные касательные напряжения, и точку  $C$ , где полка сопряжена со стенкой, принимая, что в этой точке действуют максимальные нормальные напряжения. Величины составляющих напряжений (рис. 1,  $a$ )

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot 0,5h}{I}; \quad \tau_{max} = \frac{Q \cdot S_{max}}{I \cdot \delta}; \quad \tau_{п} = \frac{Q \cdot S_{п}}{I \cdot \delta}, \quad (5)$$

где  $S_{max} = k \cdot 0,375 h^2 \delta$  и  $S_{п} = 0,25 h^2 \delta$  — статические моменты соответствующих частей сечений;

$k$  — коэффициент снижения статического момента  $S_{max}$  за счет закругления обушков;  $k \leq 0,85$  даже при очень малой толщине профиля.

Расчетные усилия в произвольном сечении на расстоянии  $x$  от опоры балки (рис. 1,  $b$ )

$$M = 0,5qb x (l - x); \quad Q = 0,5qb (l - 2x). \quad (6)$$

Для точки  $A$  в сечении  $x = 0$ , где действует максимальная поперечная сила  $Q = 0,5 qbl$ , с учетом снижения статического момента за счет закругления обушков по крайней мере на 15%, условие прочности имеет вид

$$e\tau_{max}R \leq \text{или} \frac{5 \cdot 0,5qbl \cdot 0,85 \cdot 0,375h^2}{I} \leq R,$$

откуда

$$I \geq \frac{qblh^2 \cdot 0,795}{R} = \frac{qbl^2 \cdot 0,5h}{8R} \cdot \frac{h}{l} \cdot 12,7. \quad (7)$$

Если учесть, что  $\frac{qbl^2 \cdot 0,5h}{8R}$  соответствует моменту инерции сечения, подобранного по максимальному изгибающему моменту  $M_{max} = \frac{qbl^2}{8}$ , то поперечная сила может оказаться определяющей для прочности балки только в случае очень высокой стенки  $\frac{h}{l} \geq \frac{1}{12,7}$ , что конструктивно недопустимо.

Составим условие прочности в точке  $B$  для произвольного сечения на расстоянии  $x$  от опоры (рис. 1,  $b$ ) с учетом нормальных и касательных напряжений.

$$\frac{\sigma_{max}^2 + e\tau_{п}^2}{\sqrt{\sigma_{max}^2 + \tau_{п}^2}} \leq R$$

или

$$\frac{qbh [4x^2 (l-x)^2 + 5(l-2x)^2 h^2]}{8I \sqrt{4x^2 (l-x)^2 + (l-2x)^2 h^2}} \leq R,$$

откуда

$$I \geq \frac{qbh [4x^2 (l-x)^2 + 5(l-2x)^2 h^2]}{8R \sqrt{4x^2 (l-x)^2 + (l-2x)^2 h^2}}. \quad (8)$$

На рис. 1,  $b$  изображены кривые, характеризующие изменение подобранного по формуле (8) момента инерции в функции от абсциссы

х при различных относительных высотах балок  $\frac{h}{l}$ . Полученные кривые показывают, что при  $\frac{h}{l} \leq \frac{1}{10}$  определяющим силовым фактором для подбора гнутоклееных сечений является изгибающий момент, а поперечная сила играет второстепенную роль. Лишь при очень большой, практически неконструктивной высоте балок  $\frac{h}{l} \geq \frac{1}{10} \div \frac{1}{8}$  поперечная сила может оказать существенное влияние на их прочность в небольшой по протяженности зоне у опор (рис. 1, в). В случае загрузки балки сосредоточенными силами влияние поперечных сил на прочность резко убывает в связи с относительным увеличением изгибающих моментов.

Исследования показали, что прочность гнутоклееных профилей из шпона при изгибе определяется нормальными напряжениями, как и для металлических балок. Поэтому для оптимизации формы их сечений можно воспользоваться данными для металлического проката [2].

По условиям технологии для гнутоклееных профилей толщина стенок и полок должна быть постоянной, и распределение материала в них характеризуется единственным параметром — отношением площади полок к площади стенок. Конструктивные ограничения для толщин профилей определяют из анализа их работы на продольный изгиб и условий потери изгибной устойчивости.

В результате исследований выявлены существенные достоинства складчатых гнутоклееных профилей при выполнении ими несущих функций. Складчатые профили трапециевидного очертания (рис. 2, а), а также косые Z-образные (рис. 2, б), из которых легко составляются складки, должны стать основой сортамента.

На рис. 2, в, г, д изображены возможные конструкции настилов из предлагаемых несущих профилей. Трапециевидная складка и косой Z-образный профиль оптимизированы по условиям изгиба, то есть площади полок и стенок у них равны и угол наклона боковых

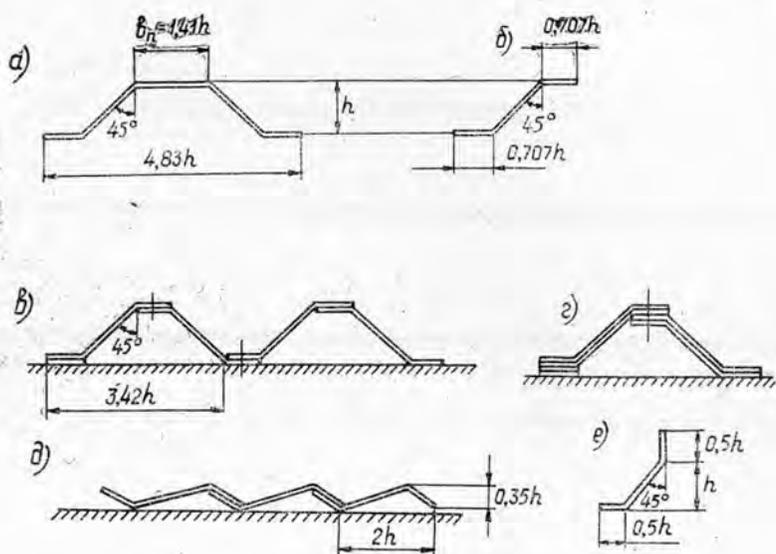


Рис. 2. Возможные виды гнутоклееных профилей.

граней к вертикали  $\phi$  принят равным  $45^\circ$ , что обеспечивает максимальную перекрывающую способность. Перекрывающая способность складок, составленных из Z-образных профилей (рис. 2, в), несколько меньше, чем у трапециевидных за счет соединения полок внахлестку. С другой стороны, Z-образные профили обладают лучшими конструктивными возможностями и позволяют осуществить различные сечения. Они незаменимы для устройства кровель в зданиях с резкими воздействиями, например, в складах минеральных удобрений. Для сквозных и дисковых конструкций широко применение может найти косой профиль, изображенный на рис. 2, е. По характеру производства и прикреплению он значительно лучше квадратного сечения.

В табл. 1 приведены формулы для определения геометрических характеристик предлагаемых сортаментных сечений, а также для вычисления расчетных нагрузок при их изгибе в различных положениях.

Таблица 1

Сечение	$\frac{F}{\delta h}$	$\frac{I}{\delta h^3}$	$\frac{W}{\delta h^2}$	$\frac{q l^3}{R h \delta}$	Рекомендуемые размеры профилей $h$ , см	Строение сечений
Трапеция (рис. 2, а)	5,66	0,942	1,884	3,12	12, 18, 24	7 слоев по 1,5 мм (5    +2 ⊥) или 9 слоев по 1,15 мм (7    +2 ⊥)
Косой Z-профиль (рис. 2, в)	5,66	0,942	1,884	4,41		
Косой Z-профиль (рис. 2, д)	2,83	0,039	0,218	0,87		
Швеллер	2	0,333	0,667	10,67	12, 15, 18	5 слоев по 1,5 мм (4    +1 ⊥) или 7 слоев по 1,15 мм (5    +2 ⊥)
Уголок	2	0,208	0,277	—	6—10	
Квадрат (рис. 2, е)	2,51	—	—	—	6—15	

При наличии всего трех типоразмеров несущих профилей  $h = 12, 18$  и  $24$  см за счет их конструктивной комбинации можно осуществлять перекрытия и покрытия при любых расчетных нагрузках пролетом до  $6—10$  м.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Ашкенази Е. К., Ганов Э. В. Анизотропия конструкционных материалов. Справочник. Л., «Машиностроение», 1972, с. 216. [2]. Вахуркин В. М. Оптимальные формы и размеры двутавровых балок в отношении наименьшего расхода металла. М., ВСНТО, Профиздат, 1955, с. 20. [3]. Израелит А. Б. Теоретические предпосылки гофрирования шпона для рационального использования его несущей способности. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1970, № 4, с. 71—74.

Поступила 12 августа 1974 г.

УДК 634.0.865

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСУШКИ И РАЗБУХАНИЯ ЛИГНОУГЛЕВОДНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ПЛАСТИКОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ И НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Ю. М. ЗЕЛЬДИН, А. Д. ЛАЗАРЕВА

Уральский лесотехнический институт

Определены изменения линейных размеров ЛУДП в камерах искусственного климата с влажностью воздуха, равной минимальному и максимальному ее значениям для жилых помещений. Зависимости, полученные путем моделирования, сравнивали с аналогичными показателями крупноформатных плит, эксплуатируемых в течение нескольких лет в различных зданиях.

Под влиянием температурно-влажностных факторов окружающей среды любой материал независимо от его происхождения изменяет свои линейные размеры. У древесно-пластических материалов (и ЛУДП в том числе) отмеченное свойство проявляется в различной степени в зависимости от породы используемых древесных частиц, их формы и размеров, наличия и количества синтетических связующих веществ, режимов прессования и условий эксплуатации конструкций из этих материалов.

Увеличенное раскрытие трещин в швах, являющееся следствием изменения размеров плит, — одно из главных отрицательных свойств их [4]. Учитывая перспективы применения плит, изготовленных без связующих, необходимо исследовать их разбухание и усушку.

Для выполнения экспериментов плиты из еловых лесосечных отходов, как облицованные лущеным лиственничным шпоном в процессе их прессования так и без облицовки, а также пластики из пробковой ткани коры березы раскраивали на образцы размером  $50 \pm 0,5$  мм. Режимы прессования и физико-механические показатели исследованных ЛУДП приведены в табл. 1.

С целью изучения влияния гигроскопического увлажнения и высушивания на изменение линейных размеров ЛУДП использовали три камеры искусственного климата. Относительная влажность воздуха  $\varphi$  в них составила  $30 \pm 5\%$ ;  $60 \pm 5\%$  и  $85 \pm 5\%$ ; температуру во всех камерах поддерживали на уровне  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Образцы пластиков (в количестве  $n = 72 \div 78$  шт.); отобранные от каждой плиты, первоначально помещали в камеру с  $\varphi = 60 \pm 5\%$ . При достижении равновесного состояния, длинномером ИЗВ-1 замеряли размеры образцов; затем всю партию образцов делили на две равные части и укладывали одновременно в две другие камеры ( $\varphi = 30 \pm 5\%$  и  $\varphi = 85 \pm 5\%$ ). Выбор этих влажностных параметров обусловлен тем, что реальные условия эксплуатации конструкций внутри помещений жилых и общественных зданий характеризуются именно такими минимальными (в зимнее время) и максимальными (в летнее время) показателями влажности воздуха.

Измерения, аналогичные описанным выше, выполняли после изъятия образцов из камер с влажностью воздуха  $30 \pm 5\%$  и  $85 \pm 5\%$  и

Таблица 1

ЛУДП	Давление, кгс/см <sup>2</sup>	Температура плит пресса, °С	Исходная влажность материала, %	Продолжительность горячего прессования, мин/мм	Плотность плит, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при статическом изгибе, кгс/см <sup>2</sup>	Водопоглощение за 24 ч, %	Разбухание по толщине, за 24 ч, %
Из дробленых еловых лесосечных отходов	25	160	19	1,0	1,20	$\frac{182}{197}$	$\frac{8,6}{7,9}$	$\frac{8,3}{8,0}$
Из дробленых еловых лесосечных отходов, облицованных листовенничным шпоном	25	170	$\frac{19}{10}$	1,0	1,21	$\frac{615}{633}$	$\frac{9,5}{9,1}$	$\frac{8,5}{8,2}$
Из пробковой ткани коры березы	25	200	3,4	2,0	0,90	—	3,0	1,2

Примечания. 1. Пластики из еловых лесосечных отходов изготовлены в цехе ЛУДП Самарского леспромхоза, а плиты из пробковой ткани коры березы — в цехе древесностружечных плит Алапаевского ДСК. 2. В знаменателе даны показатели плит, покрытых лаком МЧ-52 на лаконоливной машине. 3. Для ЛУДП, облицованных шпоном, в числителе указана влажность опилок; в знаменателе — влажность листовенничного шпона. 4. У пластиков из пробковой ткани коры березы (условно отнесенных к группе лигноуглеводных) в связи с их высокой гибкостью вместо предела прочности при статическом изгибе определяли прочность при разрыве параллельно плоскости прессования плит.

последующего высушивания их в сушильном шкафу до абс. сухого веса.

Значения линейной усушки  $G$  и коэффициента линейной усушки  $K$  [1] образцов ЛУДП представлены в табл. 2 и 3; влажность  $W$  определяли для всех образцов, заложенных в камеры; образцы отбирали из разных мест плит, не покрытых и покрытых лаком МЧ-52.

Достоверную разницу средних коэффициентов усушки для разных видов плит сравнивали по критерию Дункана [3]. Предполагая, что данное распределение подчиняется нормальному закону, вычисляли ошибку опыта  $s$ . По средним арифметическим значениям определяли величину

$$q = \frac{|\bar{x}_e - \bar{x}_m|}{s} \sqrt{\frac{2n_e n_m}{n_e + n_m}},$$

которую затем сравнивали с табличным критерием Дункана при уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы  $f = n_e + n_m - 2$ . Если  $q^p > q^r$  (рассчитанное значение больше табулированного), то разность между двумя средними значениями значима. Попарная проверка всех средних значений коэффициентов усушки для разных видов плит сведена в табл. 4, где знак «плюс» указывает на значимое различие между двумя средними значениями, а знак «минус» — на отсутствие различия. Анализ данных табл. 4 показал, что, в основном, между разными видами плит различие значимо. Несущественное различие в коэффициентах усушки образцов по длине и толщине в промежуточной камере с  $\varphi = 30\%$  наблюдается у ЛУДП, облицованных (№ 1) и покрытых лаком (№ 2), и у ЛУДП, облицованных листовенничным шпоном (№ 3 и 4) и также покрытых лаком (№ 5 и 6). В промежуточной камере с  $\varphi = 85\%$  только у облицованных ЛУДП (№ 3 и 4) различие в коэффициентах усушки по толщине несущественно.

В ряде зданий различного назначения в течение нескольких лет (от 2 до 9) эксплуатируются полы, в которых лицевой слой (покры-

Таблица 2

№ п/п	ЛУДП	W, %	G	K	W, %	G	K	G	K	G	K
		по длине образцов						по толщине образцов			
		φ = 60%			φ = 30%			φ = 60%		φ = 30%	
1	Из еловых лесосечных отходов; необлицованные	9,61	0,536	0,0560	5,02	0,372	0,0603	0,717	0,0750	0,465	0,0930
2	Те же; покрытые лаком	10,15	0,470	0,0469	5,81	0,386	0,0664	1,800	0,1772	0,540	0,0931
3	Из еловых лесосечных отходов, облицованные лиственничным шпоном; размер вдоль волокон	11,05	0,382	0,0345	8,33	0,149	0,0180	1,333	0,1209	1,071	0,1285
4	Те же; размер поперек волокон	11,05	0,394	0,0357	8,33	0,147	0,0176	—	—	—	—
5	Из еловых лесосечных отходов; облицованные лиственничным шпоном; размер вдоль волокон; плиты покрыты лаком	10,88	0,678	0,0622	7,79	0,526	0,0675	1,238	0,1590	0,362	0,0464
6	Те же; размер поперек волокон	10,88	0,352	0,0323	7,79	0,301	0,0384	—	—	—	—
7	Пластики из пробковой ткани ко- ры березы	2,11	1,451	0,6872	1,87	1,276	0,6791	0,854	0,4048	0,458	0,2449

Примечание. В промежуточной камере φ = 30%.

Таблица 3

№ п/п	ЛУДП	W, %	G	K	W, %	G	K	G	K	G	K	
		по длине образцов						по толщине образцов				
		φ = 60%			φ = 85%			φ = 60%		φ = 85%		
1	Из еловых лесосечных отходов; необлицованные	9,57	0,572	0,0601	10,20	0,615	0,0603	0,443	0,0463	0,548	0,0537	
2	Те же; покрытые лаком	9,93	0,530	0,0570	10,24	0,783	0,0761	0,806	0,0787	1,553	0,1561	
3	Из еловых лесосечных отходов; облицованные лиственничным шпоном; размер вдоль волокон	11,06	0,580	0,0522	12,13	1,770	0,1460	0,845	0,0768	1,474	0,1214	
4	Те же; размер поперек волокон	11,06	0,348	0,0315	12,13	0,443	0,0364	—	—	—	—	
5	Из еловых лесосечных отходов; облицованные лиственничным шпоном; размер вдоль волокон; плиты покрыты лаком	10,90	0,730	0,0670	11,65	1,694	0,1452	0,723	0,0662	1,008	0,0865	
6	Те же, размер поперек волокон	10,90	0,472	0,0433	11,65	0,821	0,0704	—	—	—	—	
7	Пластики из пробковой ткани коры березы	2,11	1,406	0,6680	2,43	1,938	0,7942	0,501	0,2370	1,1250	0,4218	

Примечание. В промежуточной камере φ = 85%.

№ п/п	Средние значения коэффи											
	по длине											
	$\varphi = \frac{60\%}{60\%}$						$\varphi = \frac{30\%}{85\%}$					
	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
1	$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$
2		$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$		$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$
3			$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{+}$			$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$
4				$\frac{+}{+}$	$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{+}$				$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$
5					$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$					$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$
6						$\frac{+}{+}$						$\frac{+}{+}$

Примечание. В числителе данные для образцов в промежуточной камере с Цифрами по вертикали и горизонтали указан вид ЛУДП, пронумерованный в том же

ти) выполнен из ЛУДП. Во всех этих случаях применяли плиты, изготовленные на промышленном оборудовании в действующих цехах пластиков по разработанным технологическим параметрам прессования и кондиционирования [2].

При пересчете изменений линейных размеров образцов на крупноформатные плиты, уложенные в пол, обнаружено значительное расхождение с действительным поведением плит ЛУДП в условиях эксплуатации. Так, при одноразовом колебании относительной влажности воздуха в помещении от 60 (влажность в момент укладки) до 30% и от 60 до 85% длина трехметровых плит должна была бы уменьшиться или увеличиться (табл. 5).

Таблица 5

ЛУДП	Предполагаемая усушка при изменении влажности воздуха от 60 до 30%		Предполагаемое разбухание при изменении влажности воздуха от 60 до 85%	
	%	см	%	см
Из еловых лесосечных отходов; необлицованные	1,80	5,40	1,80	5,40
Те же; покрытые лаком	1,98	5,94	2,28	6,84
Из еловых лесосечных отходов; облицованные шпоном; размер вдоль волокон	0,54	1,62	4,38	13,14
Те же; размер поперек волокон (при ширине плиты 1 м)	0,51	0,51	1,08	1,08
Из еловых лесосечных отходов; облицованные шпоном, покрытые лаком; размер вдоль волокон	2,03	6,09	4,35	13,05
Те же; размер поперек волокон (при ширине плиты 1 м)	1,14	1,14	2,10	2,10

Таблица 4

коэффициентов усушки образцов

по толщине											
$\varphi = \frac{60\%}{60\%}$						$\varphi = \frac{30\%}{85\%}$					
2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$
	$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$		$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$
		$\frac{-}{-}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$			$\frac{-}{-}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$
			$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$				$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$
				$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$					$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}$
				$\frac{-}{-}$	$\frac{+}{+}$					$\frac{-}{+}$	$\frac{+}{+}$
					$\frac{+}{+}$						$\frac{+}{+}$
					$\frac{+}{+}$						$\frac{+}{+}$

относительной влажностью воздуха 30%; в знаменателе — с влажностью воздуха 85%. порядке, что и в табл. 2 и 3.

В действительности этого не происходит по ряду причин. Во-первых, в каждый данный момент средняя влажность пластиков, как удалось выяснить, близка к средневзвешенной, поэтому возникающие в плитах напряжения имеют значительно меньшие величины в условиях эксплуатации плит, чем при испытаниях образцов в камерах искусственного климата. Кроме того, играет роль масштабный фактор.

Наконец, торцы плит, используемых для покрытия пола, после их укладки защищаются различными способами от проникновения гигроскопической и капельножидкой влаги. Поэтому у разных видов ЛУДП, находящихся в стадии эксплуатации, наблюдалось лишь незначительное отклонение (в сторону уменьшения) от первоначального размера плит. Для пластиков из листовых отходов опилок, оно составило 0,05%, из листовых отходов опилок, облицованных шпоном, — 0,09%, из еловых лесосечных отходов без облицовки — 0,06%, с облицовкой — 0,08%. В плитах из пробковой ткани коры березы расхождений швов в стыках не было обнаружено.

### Выводы

1. Результаты ускоренных испытаний ЛУДП в камерах кондиционирования дают приближенную картину аналогичных изменений плит в натуральных условиях.

2. Обнаружено существенное различие коэффициентов усушки между плитами, изготовленными из различного сырья, за исключением тех, которые выполнены из одного сырья.

3. В помещениях жилых и общественных зданий (в реальных условиях эксплуатации ЛУДП) температура и влажность воздуха часто колеблются в широких пределах. Однако влажность плит изменяется несущественно, что сопровождается незначительным по величине изменением их размеров.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Перелыгин Л. М. Древесиноведение. М., «Лесная промышленность», 1969.  
 [2]. Труды Уральского лесотехнического института, вып. 24. Свердловск, 1971. [3].  
 Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. М., «Мир», 1967. [4]. Хромов М. А. — «Жилищное строительство», 1970, № 1, с. 30—31.

Поступила 16 декабря 1974 г.

УДК 674.023

## РАСПИЛОВКА ДВУХКАНТНЫХ БРУСЬЕВ ПАРАЛЛЕЛЬНО ОБРАЗУЮЩЕЙ

И. И. СИДОРОВ

Архангельский лесотехнический институт

Изложен способ распиловки бревен или двухкантных брусьев с выпиливанием ядровой гнили или сердцевины в клиновую вырезку. Приведены наиболее приемлемые технологические схемы такой распиловки.

За последние 50 лет средний диаметр пиловочника, поступающего на лесопильные заводы Архангельска, снизился с 24 до 19 см, что привело к снижению полезного выхода пиломатериалов.

Полезный выход во многом зависит от использования сбеговой зоны бревен. При обычном способе распиловки параллельно оси симметрии (ПОС) сбеговая часть бревна рассредоточивается и полезно используется крайне незначительно, особенно при выпиливании сравнительно толстых боковых досок (19—22 мм).

Значительно лучше используется сбеговая древесина при забытом теперь способе распиловки — параллельно образующей бревна или бруса (ПОБ). Известно, что при распиловке способом ПОБ на одной половине бревна-бруса частично перерезаются волокна древесины, что может снизить механические свойства пиломатериалов.

ГОСТ 8486—66 допускает наклон волокон (косослой) даже в отборном сорте до 5%. При выпиливании четырехкантного бруса в лесопильных цехах подавляющее большинство брусьев имеет смещение сердцевины, в особенности в комлевом торце.

В данной статье рассмотрим распиловку двухкантных брусьев способами ПОС и ПОБ.

Для сравнения полезного выхода пиломатериалов были проведены опытные распиловки в Подосиновской (Кировская область) и Плесецкой лесопе-

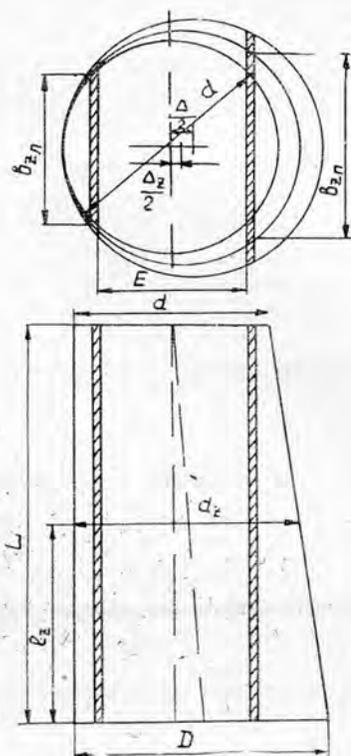


Рис. 1. Сечение бревна пропилами при распиловке способом ПОБ.

ревалочных базах, в Приозерном и Шипицынском лесокombинатах (Архангельская область), а также рассмотрены теоретические основы распиловки бревен способом ПОБ.

Полагаем, что бревно имеет форму усеченного конуса с диаметрами  $D$  и  $d$ . Диаметр бревна в сечении, отстоявшем от комля на расстоянии  $l_z$  (рис. 1),

$$d_z = D - \frac{D-d}{L} \cdot l_z. \quad (1)$$

Ширина доски в том же сечении

$$b_z = \sqrt{d_z^2 - (E \pm \Delta_z)^2}, \quad (2)$$

где  $\Delta_z = d_z - d$  — сбег бревна на длине  $L - l_z$ ;  
 $E$  — расстояние между симметричными пропилами по отношению к вершинному сечению (рис. 1).

Знак «плюс» относится к левой доске, знак «минус» к правой.

Все левые доски, выпиленные параллельно образующей, обрезаются на полную длину бревна, то есть длина этих обрезных досок равна длине бревен

$$l_0 = L; \quad (3)$$

ширина этих досок

$$b_{0л} = \sqrt{d^2 - E^2}. \quad (4)$$

Длина правых обрезных досок только при определенном значении  $E$  равна длине бревна

$$l_{0п} = L; \quad (5)$$

ширину их определяют по формуле

$$b_{0п} = \sqrt{d^2 - E^2}. \quad (6)$$

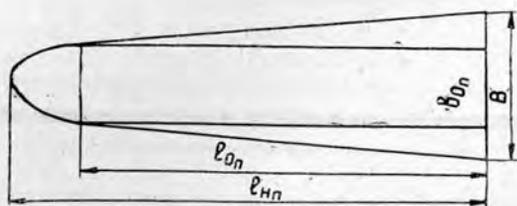
Критическое значение  $E_{кр}$ , при котором правая доска обрезается на полную длину бревна, находим из раскроя этой доски на обрезную (рис. 2). Известно, что объем доски обрезной

$$V_{0п} = ab_{0п} l_{0п}, \quad (7)$$

где  $a$  — толщина доски.

Рис. 2. Раскрой правой доски на обрезную.

$b_{0п}$  и  $l_{0п}$  — соответственно ширина и длина обрезной доски;  
 $l_{нп}$  — длина необрезной доски.



Подставляя в формулу (2) значение  $d_z = d_0$  и  $\Delta_z = \Delta_0 = d_0 - d$ , получим

$$b_{0п} = \sqrt{2d_0(E+d) - (E+d)^2}; \quad (8)$$

так как

$$l_{0n} = \frac{D-d_0}{D-d} \cdot L, \quad (9)$$

то подставляя  $b_{0n}$  и  $l_{0n}$  в уравнение (7), найдем

$$V_{0n} = \frac{aL(D-d_0)}{D-d} \sqrt{2d_0(E+d) - (E+d)^2}; \quad (10)$$

отсюда

$$\frac{dV_{0n}}{dd_0} = \frac{aL}{D-d} \left[ -\sqrt{2d_0(E+d) - (E+d)^2} + \frac{(E+d)(D-d_0)}{\sqrt{2d_0(E+d) - (E+d)^2}} \right] = 0.$$

Из этого уравнения получим

$$d_0 = \frac{D+d+E}{3}. \quad (11)$$

Значение  $E_{кр}$  можно определить при  $d_0 = d$ , отсюда

$$E_{кр} = 2d - D. \quad (12)$$

В долях вершинного диаметра

$$E_{кр} = (2-k)d, \quad (13)$$

где  $k = \frac{D}{d}$  — коэффициент сбega. Для  $k = 1,2$  имеем  $E_{кр} = 0,8d$ .

При распиловке способом ПОС значение  $E_{кр}$  по абсолютной величине больше. Если  $E \leq E_{кр}$ , то длина правой обрезной доски равна  $L$ , а ширину вычисляли по формуле (8). Если  $E > E_{кр}$ , то

$$b_{0n} = \sqrt{d_0^2 - (E - \Delta_0)^2} = \sqrt{\frac{(E+d)(2D-d-E)}{3}}, \quad (14)$$

а  $d_0$  определяли по формуле (13). Поскольку доска укорачивается, то

$$l_{0n} = \frac{D-d_0}{c},$$

где  $c$  — сбега бревна, см/м.

По формулам (6), (8), (13), (14) рассчитаны поставки для распиловки бревен способом ПОб. Данные о полезном выходе пиломатериалов приведены в табл. 1.

Поставы можно рассчитать с помощью вспомогательных таблиц, применяемых в лесопилении, но лучше использовать пособие [1], в котором, помимо таблиц, имеются практические графики для составления поставов, дающих максимальный выход. При распиловке способом ПОб ориентиром при направлении бруса в лесопильную раму являются не центральные, а левые боковые пилы поставка.

По рассчитанным теоретическим поставкам проведены опытные распиловки в Подосиновском лесоперевалочном комбинате (Кировская область) [2] и в Шипицынском леспромкомбинате. Двухконтные брусья, выпиленные обычным способом из бревен длиной 4 м и диаметром 14—16, 18—20 см (по качеству относящихся к высшим сортам — без гнили), первоначально распиливали способом ПОС, а затем примерно такое же количество брусьев способом ПОб. Всего было распилено 400 брусьев. Полезный выход из каждого бруса фиксировали в отдельности. Доски учитывали приведенными к обрезным; размеры

Таблица 1

Показатели	Значения показателей при способе распиловки							
	ПОС		ПОБ		ПОС		ПОБ	
Диаметр бревна, см		14		16		18		20
Число брусев-бревен, шт.	38	65	44	55	39	24	24	20
Постав		1/100; 2/22 2/40; 4/19				1/150; 1/100 2/22; 4/22		
Полезный выход из бруса (расчетный) $h_p$ , %	50,1	53,50	48,1	49,3	61,2	63,0	59,15	61,73
Разность, %		3,4		1,2		1,8		2,48
Полезный выход из бруса (фактический) $h_{\phi}$ , %	48,38	52,48	45,29	47,57	56,6	60,43	54,2	57,0
Разность, %		4,1		2,28		3,83		2,8
$\sigma$ , %	2,52	3,9	3,18	2,82	4,82	3,25	2,50	3,00
$v$ , %	5,21	7,44	7,03	5,93	8,52	5,40	4,63	5,26
$m$ , %	0,41	0,484	0,493	0,381	0,75	0,665	0,51	0,60
$p$ , %	0,85	0,925	1,09	0,80	1,32	1,10	0,94	1,65
Отношение $\frac{h_{\phi}}{h_p}$	0,966	0,980	0,941	0,965	0,926	0,959	0,913	0,929

брали в соответствии с ГОСТом 8486—66; минимальная ширина досок 80 мм, длина 1,5 м.

Результаты опытных распиловок статистически обработаны и приведены в табл. 1.

Расчетное увеличение выхода при распиловке способом ПОб в среднем составляет 2—4%, фактическое значительно больше, так как ГОСТ 8486—66 допускает тупые обзолы на кромках досок по всей длине даже для нулевого сорта. Такие допуски по обзолам практически можно использовать только при распиловке способом ПОб на левой части бруса; эффективность увеличивается, когда левая боковая доска в поставе выпиливается увеличенной толщины.

Расчетными и опытными распиловками установлено, что полезный выход увеличивается при распиловке способом ПОб, но при этом на правой части бруса перерезаются волокна древесины (искусственный косослой). Строение ствола схематически можно представить в виде годовичных конусов, нанизанных на сердцевину, с числом годовичных слоев, постепенно уменьшающимся по высоте ствола. При распиловке по сбегу на левой половине бруса наблюдается наименьшее перерезание волокон, а на правой дополнительное перерезание волокон и возможен даже переход сердцевинной трубки с одной пласти доски на другую. В ГОСТе 8486—66 по этому вопросу никаких указаний нет. В ТУ 13-02-04-67 на пиломатериалы экспортные хвойных пород такой переход сердцевины допускается с третьего сорта. В опытных распиловках, проводимых с целью сравнения полезного выхода, пиломатериалы не оценивали по сортам.

Для элементарного представления об изменении механических свойств выпиленных досок по способу ПОб определяли прогиб на изгиб. С этой целью изготовили простейший стенд и измеряли прогиб консольно защемленных центральных досок сечением 40×100×4000 мм. При этом сбегами считались такие центральные доски, в которых не было сердцевины, а для сравнения брали только те доски, которые были выпилены из бруса в паре со сбегами. На каждой доске производили 8 замеров при закреплении в струбине коглем или вершиной с разным расположением пластей. Прогиб измеряли от собственного веса доски и при действии груза 12,2 кг на длине консоли 350 см.

Результаты статистической обработки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показателя	Значения показателей для центральных досок	
	сбеговых	несбеговых
Число замеров $n$	108	108
Среднее значение стрелы прогиба $M$ , см	29,35	29,30
Квадратическое отклонение $\sigma$ , см	7,30	6,93
Коэффициент вариации $v$ , %	24,5	23,7

Среднее значение статистически вычисленной стрелы прогиба не оценивали, так как разность составила только 0,05 см, но среднее квадратическое отклонение имеет разницу 0,37 см.

Дисперсное отношение

$$F = \frac{7,30^2}{6,93^2} = 1,11 < 1,61 \text{ при } 5\% \text{-ном уровне значимости.}$$

Дисперсный критерий не достигает 5%-ного уровня значимости, следовательно, нет основания считать наблюденную разницу в точности измерения существенной. Отсутствие разницы в значениях стрелы прогиба в какой-то мере подтверждает, что качество выпиливаемых пиломатериалов при распиловке параллельно образующей не ухудшается. По-видимому, на результаты повлияла длина распиливаемых бревен с очень небольшим сбегом.

Безусловно, замеры стрелы прогиба досок на изгиб в зависимости от рассматриваемых способов распиловки необходимо проводить и на более длинных досках.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Батин Н. А., Лахтанов А. Г., Бруевич Ю. А. Поставы на распиловку бревен. М., «Лесная промышленность», 1966. [2]. Сидоров И. И. Распиловка брусьев параллельно одной образующей.—Бюллетень технико-экономической информации. Архангельский Совнархоз, 1959.

Поступила 4 февраля 1975 г.

УДК 634.0.812

### СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОПЕРЕК ВОЛОКОН

В. В. ГАМОВ

Брянский технологический институт

Обосновано преимущество нестандартного образца для определения прочности древесины при растяжении поперек волокон по сравнению с ГОСТовским и выявлены некоторые причины, обуславливающие анизотропию древесины.

При растяжении образцов древесины поперек волокон годовичные слои должны быть направлены вдоль или поперек образцов. У стандартных образцов при определении прочности древесины на растяжение в тангенциальном направлении указанное требование выполнить почти невозможно, так как длина разрываемой части очень велика — 45 мм. Следовательно, на этих образцах невозможно получить точное значение прочности при растяжении в тангенциальном направлении.

Нельзя также не учитывать значительное различие в кривизне годовичных слоев на длине рабочей части стандартного образца при радиальном растяжении. Например, если кривизна годовичного слоя  $K_1$  в ближайшем к сердцевине конце длины рабочей части образца равна  $\frac{1}{50}$  мм, то кривизна слоя  $K_2$  в другом конце равна  $\frac{1}{50+45}$  мм (расхождение 90%).

С увеличением разницы в кривизне отдельных годовичных слоев отклонения прочности в ту или другую сторону от истинного значения должны возрасти ввиду того, что для одних пород прочность в радиальном направлении выше, чем в тангенциальном, а для других — наоборот. Так, если истинные значения прочности древесины на растяжение поперек волокон выражаются соотношением  $\sigma_{рад} < \sigma_{танг}$ , то указанные отклонения повышают значение  $\sigma_{рад}$  и уменьшают  $\sigma_{танг}$  образца. Если же для истинных значений  $\sigma_{танг} < \sigma_{рад}$ , то эти отклонения снижают  $\sigma_{рад}$  и увеличивают  $\sigma_{танг}$  образца.

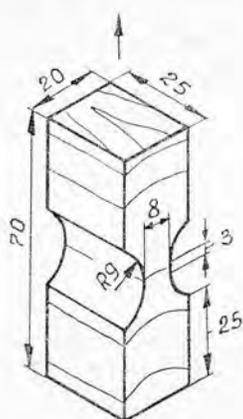


Рис. 1.

Для подтверждения высказанных предположений нами были произведены следующие эксперименты. Испытанию на растяжение поперек волокон подвергали образцы древесины, полученные в соответствии с требованиями ГОСТа 11493—65, и образцы, аналогичные им по форме, но отличные от стандартных своими размерами (рис. 1). При выборе длины рабочей части нестандартного образца учитывали, что она должна быть больше ширины годичного слоя поздней древесины, чтобы на рабочую часть образца приходились как ранняя, так и поздняя зоны. Такое условие необходимо соблюдать, прежде всего, при радиальном растяжении, так как в противном случае в рабочей части образца может оказаться более прочная поздняя древесина и разрушение произойдет вне рабочей части.

Минимальная длина рабочей части образца лимитируется также и влиянием концентрации напряжений, а максимальная должна обеспечивать получение прочности образца строго в радиальном и тангенциальном направлениях.

В случае испытания нестандартного образца на радиальное растяжение при кривизне годичного слоя  $K_1 = \frac{1}{50}$  мм в ближайшем к сердцевине конце длины рабочей части кривизна годичного слоя в

Таблица 1

Порода	Растяжение	Показатели прочности на растяжение поперек волокон при $W=12\%$					
		$M$ , кгс/см <sup>2</sup>	$\sigma$ , кгс	$v$ , %	$m$ , кгс	$p$ , %	$n$
Сосна	Радиальное	45,3	7,44	16,4	1,86	4,10	16
		45,6	8,7	19,1	1,95	4,26	20
	Тангенциальное	47,5	8,12	17,1	2,03	4,27	16
		45,8	9,4	20,5	2,1	4,6	20
Лиственница	Радиальное	61,0	10,3	16,9	2,58	4,23	16
		61,4	13,1	21,4	2,95	4,8	20
	Тангенциальное	68,2	12,0	17,6	3,0	4,4	16
		63,9	13,86	21,7	3,12	4,87	20
Осина	Радиальное	62,4	9,6	15,4	2,4	3,84	16
		59,0	11,97	20,03	2,68	4,55	20
	Тангенциальное	47,1	7,63	16,2	1,91	4,05	16
		48,7	9,56	19,6	2,14	4,40	20
Береза	Радиальное	79,9	13,2	16,5	3,30	4,12	16
		75,2	13,75	18,3	3,08	4,10	20
	Тангенциальное	65,3	9,6	14,7	2,4	3,68	16
		66,5	13,7	20,6	3,07	4,61	20
Дуб	Радиальное	86,2	14,5	16,9	3,64	4,2	16
		81,3	17,0	21,0	3,80	4,66	20
	Тангенциальное	71,8	10,8	15,1	2,7	3,77	16
		74,5	15,4	20,7	3,45	4,64	20

другом конце рабочей части образца  $K_2 = \frac{1}{50+3}$  мм, то есть разница составляет всего лишь 6%.

Результаты испытаний приведены в табл. 1 (числитель — нестандартные образцы, знаменатель — стандартные). Приняв значения прочности, полученные при испытании нестандартных образцов, за близкие к истинным, можно прийти к выводу, что высказанные выше предположения справедливы.

Анализ приведенных табличных данных показывает, что стандартные образцы не позволяют определить прочность строго в тангенциальном и радиальном направлениях. При одинаковой вероятности полученных результатов статистические характеристики пределов прочности стандартных образцов уступают соответствующим показателям для образцов рис. 1. Преимущество последних — их малая длина, упрощающая изготовление образцов.

Прочность сосны и лиственницы при тангенциальном растяжении больше, чем при радиальном, из-за наличия поздней древесины в разрывном сечении. В результате радиального растяжения разрушается ранняя древесина этих пород, сердцевинные же лучи не оказывают доминирующего влияния на увеличение прочности. У осины, березы и дуба, наоборот, пределы прочности при радиальном растяжении выше, чем при тангенциальном, вследствие дополнительного сопротивления сердцевинных лучей в первом случае и относительно низкого процента поздней древесины во втором. Влияние сердцевинных лучей на прочность в радиальном направлении у дуба значительнее, чем у березы и осины. Соотношение прочности в радиальном и тангенциальном направлениях зависит от характера расположения сосудов. У дуба, например, потеря прочности при растяжении в радиальном направлении несколько больше, чем в тангенциальном.

Поступила 25 декабря 1973 г.

УДК 634.0.812

## О СОСТОЯНИИ ВЛАГИ В МЕРЗЛОЙ ДРЕВЕСИНЕ

Л. Л. КРОВОТА

Ленинградская лесотехническая академия

В работе выявлено соотношение между двумя агрегатными состояниями влаги в древесине при разной температуре. Это дает возможность не только выяснить объективные условия замерзания и оттаивания влаги, но и позволяет значительно уточнить теплотехнические, энергетические и технологические расчеты по подготовке и распиловке древесины.

Исследований по резанию мерзлой древесины недостаточно. Большинство данных носит эмпирический характер.

Процесс замерзания и оттаивания капиллярно-пористых тел, к которым относится древесина, представляет собой сложный комплекс физических явлений. Это объясняется тем, что влага в древесине неоднородна. Характер замерзания или оттаивания свободной влаги, находящейся в макрокапиллярах, и связанной влаги, заполняющей микрокапилляры, различен. Еще более сложно поведение той части гигроскопической влаги, которую называют адсорбционной. Считается, что в древесине находится 5—6% такой влаги и она практически не замерзает при любых температурах.

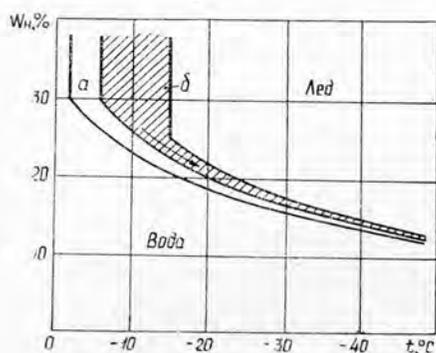


Рис. 1. Кривая оттаивания *a* и область замерзания *б* гигроскопической влаги в древесине (по Б. С. Чудинову).

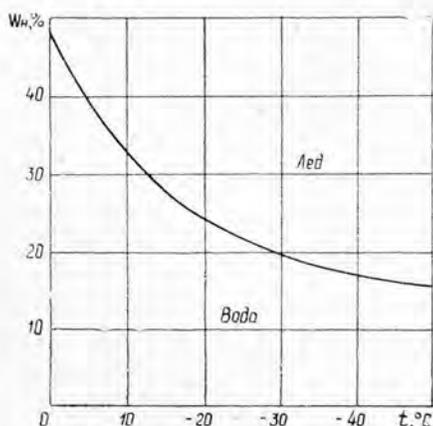


Рис. 2. Соотношение льда и воды при отрицательных температурах (процесс замерзания влаги в древесине (по В. И. Степанову).

Вопрос о соотношении количества замерзающей и незамерзающей влаги в древесине при отрицательных температурах освещен в работах Института леса и древесины СО АН СССР. В 1967 г. Б. С. Чудинов [1] предложил эмпирическое уравнение, связывающее количество незамерзающей влаги в древесине сосны при оттаивании с температурой [6]

$$W_n = 12 + 18e^{0,0567(2+t)} \quad (1)$$

Это уравнение справедливо для температур от  $-2$  до  $-50^\circ\text{C}$  (рис. 1, кривая *a*). По мнению Б. С. Чудинова, кривая замерзания проходит несколько выше кривой оттаивания (рис. 1, область *б*). При этом автор процессу замерзания влаги в древесине отводит зону, в которой должна располагаться собственно кривая замерзания. Поэтому воспользоваться указанным графиком для определения количественного соотношения твердой и жидкой фаз в древесине при ее замерзании не представляется возможным.

Очевидно, учитывая это положение, В. И. Степанов в 1968 г. [4] предложил другое уравнение, связывающее количество незамерзшей воды в древесине сосны и температуру охлаждения

$$W_n = 12 + 36e^{0,0612t} \quad (2)$$

Это уравнение практически получено на основе тех же предпосылок, что и формула Б. С. Чудинова. Кривая, построенная по уравнению (2), имеет такой же вид, что и построенная по выражению (1) (рис. 2). Однако приведенная на рис. 2 кривая дает более конкретное соотношение воды и льда в древесине в зависимости от температуры.

Здесь учтено замечание Б. С. Чудинова о том, что кривая температуры замерзания влаги при охлаждении древесины проходит выше кривой оттаивания. В таком виде график удобен для практических расчетов. Но если часть кривой в области очень низких температур не вызывает сомнения, то та часть, которая соответствует температурам, близким к  $0^\circ\text{C}$ , наводит на размышления. В самом деле, из гра-

Рис. 3. Совмещенные кривые соотношения льда и воды в древесине при ее охлаждении.

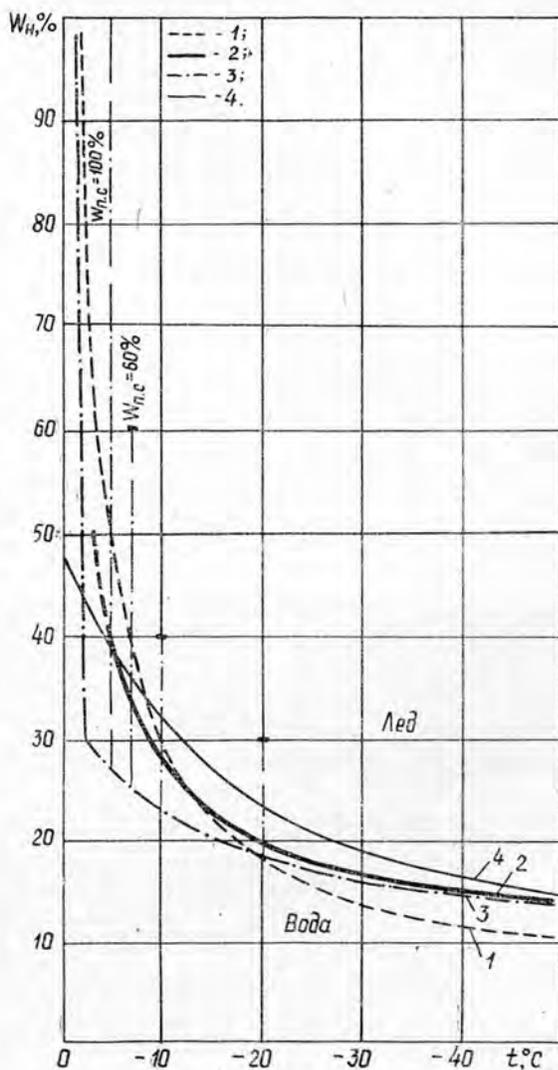
1 — по Песоцкому; 2 — обобщенная зависимость; 3 — по Чудинову; 4 — по Степанову.

фика следует, что при  $0^{\circ}\text{C}$  и влажности древесины 48% вода может находиться как в твердом, так и в жидком состоянии. Значит, в этих условиях должно существовать термодинамическое равновесие двух фаз. В действительности же нет оснований ожидать такого равновесия.

В. И. Степанов указывает, что «увеличение влажности древесины выше некоторого значения не влияет на величину  $W_n$  [4]. Конкретизируя это обстоятельство, приходится признать, что та часть свободной влаги, которая превышает 48%, при  $0^{\circ}\text{C}$  должна находиться в виде льда. Это означает, что такая вла-

га, по крайней мере, обладает особыми свойствами. Что касается древесины, влажность которой меньше 48%, то, согласно графику, при  $0^{\circ}\text{C}$  и даже несколько ниже влага вообще не замерзает, то есть  $W_n = W$ .

Если обратиться к более ранним исследованиям, то необходимо отметить, что предложенная А. Н. Песоцким [3] кривая замораживания влаги в древесине в области температур, близких к  $0^{\circ}\text{C}$ , выглядит предпочтительнее (рис. 3, кривая 1). По физическому смыслу к этой кривой близка кривая Б. С. Чудинова (рис. 3, кривая 3). Учитывая это положение, а также рекомендации Б. С. Чудинова о том, что гистерезис кривых оттаивания и замораживания вследствие необратимости процессов может быть не столь значительным ( $0,3 \div 0,5^{\circ}\text{C}$ ), мы предложили обобщенную кривую (рис. 3, кривая 2), рассчитанную для температур от  $-2,5$  до  $-50^{\circ}\text{C}$ ; здесь учтено и переохлаждение воды в процессе замораживания.



Б. С. Чудинов указывает, что кривую оттаивания (рис. 3, кривая 3) также можно использовать для определения количества незамерзшей влаги для температур от  $-2$  до  $-50^{\circ}\text{C}$ , если учесть переохлаждение древесины. Для этого он предлагает к своему графику добавить изотермы, учитывающие переохлаждение древесины при различной ее влажности. В этом случае замораживание начинается после того как древесина достигнет температуры  $t_3$ . В дальнейшем кривая замораживания совпадает с кривой оттаивания. Изотермы переохлаждения некоторых значений влажности поверхностных слоев древесины нанесены на рис. 3.

Резюмируя сказанное, отметим, что предлагаемая обобщенная кривая вовсе не претендует на высокую точность. Найденное количественное соотношение воды и льда при отрицательных температурах базируется на современном представлении физических явлений, сопровождающих процесс охлаждения капиллярно-пористых тел. При этом скорость охлаждения соответствует примерно естественным условиям. Это значит, что, учитывая климатические условия различных районов страны, можно с достаточной для технологических расчетов точностью определить состояние древесины перед распиловкой, а также исходные данные для тепловых расчетов, энергетических расчетов расхода энергии, величины подачи в лесопильных станках и т. д.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Власов О. Е. Образование льда в пористых средах.—В сб.: Долговечность ограждающих и строительных конструкций (физические основы). Госстройиздат, 1963. [2]. Нестеренко В. Г. Особенности промерзания и оттаивания свежесрубленной древесины.—«Деревообрабатывающая промышленность», 1966, № 8. [3]. Песочный А. Н. Лесопильное производство. Вып. 3. М., 1966. [4]. Степанов В. И. Об агрегатном состоянии воды в мерзлой древесине.—В сб.: Исследования в лесах Сибири. Красноярск, 1968. [5]. Хромцов М. И. Замерзание влаги в древесине.—Научные труды Львовского лесотехнического института, I. Изд. Львовского университета, 1954. [6]. Чудинов Б. С., Степанов В. И. О теории замерзания влаги в древесине.—В сб.: Древесина, ее защита и пластики. «Наука», 1967. [7]. Чудинов Б. С. Теория тепловой обработки древесины. «Наука», 1968.

Поступила 18 декабря 1974 г.

УДК 634.0.812

## ВЛИЯНИЕ ПРОЗРАЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЦВЕТА ДРЕВЕСИНЫ

М. П. ГОРЕНЬКОВ

Архангельский лесотехнический институт

Приведены результаты исследований изменения натурального цвета древесины от толщины прозрачного покрытия (лака и порозаполнителя).

Наше представление о цвете лакового покрытия зависит от оптических свойств пленки и самой подложки. Как установлено ранее, лаковые покрытия имеют различный коэффициент пропускания, который характеризует их цвет и прозрачность. Слабоокрашенная пленка изменяет натуральный цвет древесины, особенно при нанесении порозаполняющих составов, имеющих различные наполнители. Поэтому подбор лака и порозаполнителя с определенными оптическими показателями, а также установление оптического показателя, характеризующего по-

крытие в целом, имеют существенное значение для улучшения, например, качества мебели.

Влияние лакового покрытия и порозаполнителя в отдельности на изменение светлости и яркости цвета подложки (поверхности дуба, ясения, бука и березы) определяли по величине коэффициента отражения  $R$ , полученного с помощью спектрофотометра СФ-10.

Предварительно образцы каждой породы группировали в партии с одинаковой яркостью. Использовали лаки НЦ-221, НЦ-218, МЧ-52, ПЭ-214, импортный лак 1008, порозаполнители ЛК-2, ЛК-3, КФ-2. Лаки наносили послойно; каждый слой сушили при  $T = 20^\circ\text{C}$ . Толщину пленки контролировали с помощью микроскопа МИС-11.

Таблица 1

Порода	Коэффициент отражения, %, от поверхности при нанесении лаков				
	№ 108	НЦ-218	НЦ-221	ПЭ-214	МЧ-52
Толщина пленки 60 мкм					
Бук	48	45	38	31	40
Дуб	67	72	63	42	68
Береза	77,6	77,5	72	47	81
Толщина пленки 90 мкм					
Бук	46	40	37	27	48
Дуб	65	71,8	58	37	67
Береза	72	73	67,5	40	77
Толщина пленки 130 мкм					
Бук	44	37	36	25	45
Дуб	62	63	50	30	65
Береза	70	66	63	33	75

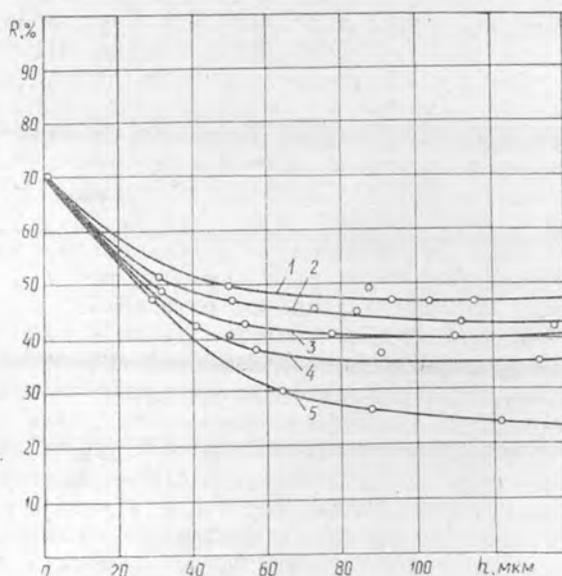


Рис. 1.

1 — МЧ-52; 2 — 1008; 3 — НЦ-218;  
4 — НЦ-221; 5 — ПЭ-214.

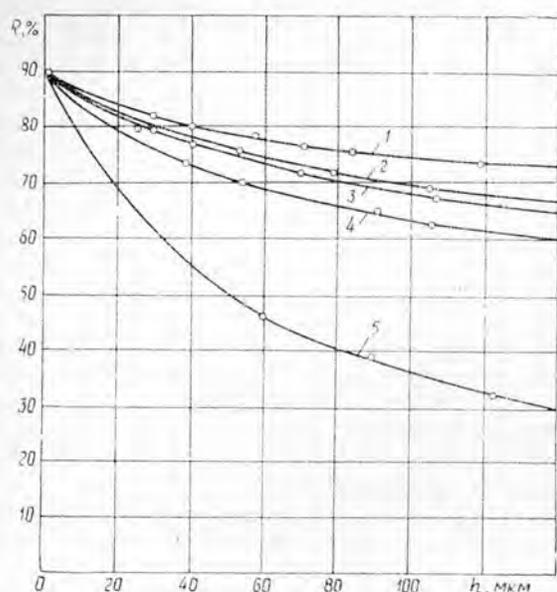


Рис. 2.

1 — МЧ-52; 2 — 1008; 3 — НЦ-218;  
4 — НЦ-221; 5 — ПЭ-214.

Полученные значения коэффициентов отражения от поверхности для различных пород с покрытиями разных лаков приведены в табл. 1. Зависимость коэффициентов отражения от толщины пленки для букowych образцов представлена на рис. 1, для березовых — на рис. 2. Как видно из графиков и данных таблицы, коэффициент отражения света от поверхности образцов уменьшается с увеличением толщины покрытия. При повышении толщины пленки до 60—80 мкм он резко снижается, а затем изменяется незначительно. Для исследуемых лаков, имеющих разный цвет, значение  $R$  различно: для лаков 1008 и МЧ-52 на всех породах выше, чем для лаков НЦ-221, НЦ-218 и ПЭ-214.

Следует отметить влияние подложки на оптические свойства пленок. При одинаковой толщине нанесенной лаковой пленки ее оптические свойства различны и зависят от породы древесины. Для всех исследуемых покрытий наблюдается большое значение  $R$  от поверхности пленок на березе. Лучшие показатели  $R$  на этой подложке имеют пленки МЧ-52, 1008, худшие — ПЭ-214.

Если исследуемые покрытия расположить в порядке убывающей степени коэффициента отражения, то видно, что на поверхности березовой древесины лучшими оптическими свойствами обладают пленки МЧ-52 для всех ее толщин. На поверхности бука для покрытий толщиной до 60 мкм наибольший коэффициент отражения имеют пленки импортного лака 1008, для покрытий больших толщин — пленки МЧ-52. На поверхности дуба лучшие оптические показатели имеет лак НЦ-218.

Данные об изменении коэффициента отражения света от поверхности образцов древесины после нанесения различных составов порозаполнителей сведены в табл. 2. На рис. 3 показан спектр отражения от порозаполнителей поверхности ясеня. Аналогичные спектры были получены на других породах.

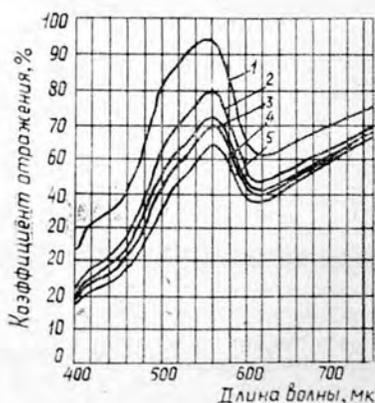
Исследованиями установлено, что коэффициент отражения от поверхности красного дерева, дуба и ясеня при нанесении состава КФ-1

Таблица 2

Порода	Коэффициент отражения от непорозаполненной поверхности, %	Марка порозаполнителя	Соотношение компонентов	Коэффициент отражения от порозаполненной поверхности, %
Дуб	94	КФ-1	1:1	74
		КФ-1	1:0,7	73
		ЛК-3	—	66,5
		ЛК-2	—	71
Ясень	96	КФ-1	1:0,7	72
		КФ-1	1:1	80
		ЛК-3	—	69
		ЛК-2	—	64
Красное дерево	90	КФ-1	1:0,7	80,5
		КФ-1	1:1	84,5
		ЛК-3	—	74
		ЛК-2	—	73,5
Орех	76,5	КФ-1	1:0,7	57
		КФ-1	1:1	56
		ЛК-3	—	60
		ЛК-2	—	49,5

Рис. 3.

1 — чистая поверхность; 2 — состав КФ-1 (1:1); 3 — КФ-1 (1:0,7); 4 — ЛК-3; 5 — ЛК-2.



с соотношением компонентов 1:1 выше, чем с соотношением 1:0,7. На поверхности ореха оба эти состава практически имеют одинаковую величину отражения. Более высокий коэффициент отражения порозаполненной поверхности составом КФ-1 наблюдается на поверхности красного дерева.

На поверхности дубового строганого шпона состав КФ-1 при различном соотношении сухой и жидкой частей имеет почти одинаковый процент отражения в отличие от состава ЛК. На поверхности ореха лучшие показатели имеет состав ЛК.

Сравнительный анализ по значениям коэффициентов отражения составов КФ-1 и КФ-2, нанесенных на поверхность ясеня, дал одинаковый результат.

Проведенные работы по определению изменения цвета древесины от нанесенного состава порозаполнителя и лака показывают, что их оптические свойства существенно влияют на декоративность покрытия. Поэтому для получения покрытия высокого качества следует тщательно подбирать лакокрасочный материал для каждой породы в отдельности.

Поступила 27 июня 1975 г.

УДК 694.1

## КЛЕЕННЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СЕТЧАТЫХ КУПОЛАХ

Ю. А. БАРАШКОВ

Московский архитектурный институт

Дано описание двух архитектурно-конструктивных разработок, основанных на использовании клееных деревянных конструкций в сетчатых куполах зданий. Сетчатые купола из дерева демонстрируют высокоэкономичные решения благодаря малому собственному весу, минимальному расходу дерева, возможности использования низкосортных материалов, высокой пространственной жесткости, гарантирующей надежность работы при больших снеговых и ветровых нагрузках, что особенно важно в условиях севера.

Сетчатый купол — одна из наиболее экономичных форм покрытия зданий, позволяющая перекрывать максимум пространства при минимальной поверхности покрытия; он представляет собой многогранник, вписанный в сферическую или другую поверхность вращения. Давление на любую вершину поверхности распределяется равномерно по смежным площадям постройки, что позволяет применять в куполах легкие строительные материалы. Дерево, имея небольшой объемный вес, высокую прочность, малую теплопроводность, легкость пластической обработки, может с успехом использоваться в качестве основного конструктивного материала для сетчатых куполов.

В купольных конструкциях применяют, в основном, модифицированную древесину. Клееная, антисептированная, пропитанная антипиренами древесина — первоклассный строительный материал, обладающий высокой прочностью и долговечностью. Клееные деревянные купола в 5 раз легче железобетонных и на 30—40% дешевле конструкций из железобетона и стали. Огнестойкость клееных деревянных конструкций, обработанных соответствующим образом, вполне достаточна для применения их в общественных, производственных и складских зданиях, в том числе в зданиях для хранения химических веществ. Такие конструкции не теряют несущей способности даже при температуре 750°C и полном обугливание поверхности.

Клееные деревянные купола могут применяться в условиях Архангельской области и Крайнего Севера при строительстве малых переносных жилищ на лесоразработках и в труднодоступных районах добычи нефти, газа, при возведении большепролетных конструкций.

В Московском архитектурном институте на кафедре конструкций гражданских зданий под руководством проф. М. С. Туполева в течение

ряда лет проводятся научные исследования, связанные с разработкой и экспериментальным осуществлением купольных покрытий. Одно из таких исследований — разработка архитектурно-конструктивного предложения о купольном покрытии из клееной древесины для выставочного зала в г. Архангельске (рис. 1).

Выставочный зал площадью 1000 м<sup>2</sup> перекрыт сетчатым куполом, имеющим пролет 34 м и представляющим собой каркас, состоящий из взаимно пересекающихся стержней, по которым настилают клефанерные панели. Сфера купола разбита на 720 граней. Разработано два конструктивных варианта: а) стержни каркаса прямолинейные, панели покрытия плоские; б) стержни каркаса криволинейные, панели покрытия выпуклые.

В первом варианте на собранный каркас настилают плоские клееные треугольные панели; каркас состоит из стержней прямолинейного очертания и с двухскатным верхним и нижним поясом. Клееные стержни изготавливают на заводе, и на строительную площадку они поступают с комплектом монтажных металлических накладок. Монтаж купола ведут в направлении от опор к его центру, причем в первую очередь монтируют 10-метровые стержни по периметру и пяти меридианам. Сборка купола ведется гусеничным краном, а фиксация стержней в проектных отметках, при соединении их между собой, производится на простейших точечных опорах.

Панели состоят из каркаса и обшивки. Внутри панель заполнена утеплителем — пенополистиролом ПСБс. Каркас изготавливают из брусков 46 × 120 мм, обшивку — из водостойкой фанеры. Для увеличения жесткости тонких обшивок устраивают дополнительные деревянные элементы. Панели (рис. 2) между собой соединяются с помощью болтов диаметром 16 мм. Для естественного освещения помещения предусмотрено использовать светопрозрачные панели, оклеенные фенольным пластиком производства северодонецкого завода «Стеклопластик».

Во втором варианте каркас набирают из гнутых клееных стержней 7 типоразмеров, которые отличаются друг от друга только длиной элемента — от 4440 до 5350 мм. Панели покрытия конструктивно такие же, как и в первом варианте, но каркас выполнен из гнутых клееных элементов. Следовательно, панель получается криволинейного очертания (рис. 3). В этом варианте увеличиваются трудозатраты на производство панелей на заводе, но собранное покрытие приближается к сферической форме, то есть получаем новый архитектурный образ сооружения.

Каркас купола шарнирно опирается на 20 железобетонных опор. Вертикальное ограждение выставочного павильона решено в виде витража из деревянных брусков сечением 10 × 15 см. Витраж опирается на кирпичный цоколь, а вверху примыкает к покрытию. Вес 1 м<sup>2</sup> покрытия составляет 54 кгс/м<sup>2</sup>. Стоимость здания 200 тыс. р.

Выполненный расчет сетчатого купола из клееной древесины оправдывает принятое конструктивное решение. Все элементы купола стандартны, просты в изготовлении и монтаже.

Для севера нужен жилой дом особого типа. По условиям инсоляции лучшим можно считать здание с криволинейной формой плана, а также с наклонными стенами (окнами). Дом в полусферической форме не заносится снегом (свойства поверхности способствуют ускорению движения воздушных масс в районе дома), может противостоять ветрам при скорости 35—40 м/с. Из сравнения домов сферической формы с домами формы прямоугольного параллелепипеда при равных площадях пола видно, что в первом случае площадь ограждений, приходящихся на

1 м<sup>3</sup>, на 20% меньше, чем во втором, а площадь ограждений, приходящихся на единицу площади пола — на 30% меньше. Здание с криволинейным планом по расходу материала и стоимости наружных ограждений более экономично, чем обычное прямоугольное здание.

На рис. 4 показан мобильный жилой дом, разработанный для вахтенных поселков строителей, геологов, лесорубов. Он легко монтируется и благодаря небольшому весу может быть установлен на любом основании. Дом представляет собой многогранник, построенный на основе двадцатигранника, вписанного в сферу. Здание состоит из каркаса и обшивок — трехслойных панелей. Структура каркаса включает в себя шесть одинаковых пятиугольников: пять образуют стороны, а шестой — вершину купола. Один нестандартный пятиугольник образует вход в дом. Пятиугольники скрепляются между собой и образуют равнозагуженную купольную структуру.

Каркас набран из брусков прямоугольного сечения 100×75 мм. Швы между панелями покрываются защитным слоем, содержащим гудрон. Теплоизоляция обеспечивается панелями, состоящими из деревянного каркаса, утеплителя и обшивки фанерой. Панели снаружи окрашиваются масляной краской в яркие цвета. Оконные и дверной проемы по форме повторяют рисунок каркаса и размещены так, что не нарушают его структуру. Форма купольного дома имеет вполне ясные геометрические очертания, поэтому его без больших затруднений можно изготовить на заводе и собрать на полигоне. Конструктивная форма дома обоснована, так как здесь соблюдено единство функций материала и законов статики.

Применение клееной древесины как в большепролетных куполах, так и в куполах-домах, рассчитанных на одну семью, отвечает всем критериям прогрессивности архитектурно-конструктивных решений зданий и сооружений.

Развитая деревообрабатывающая промышленность на севере нашей страны и огромная сырьевая база ставят на повестку дня внедрение большепролетных покрытий из клееной древесины в практику проектирования и строительства.

---

Поступила 7 октября 1974 г.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 634.0.812

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ  
ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

В. А. ФЕДОРОВ, В. Н. ПИЯЛКИН, А. К. СЛАВЯНСКИЙ

Ленинградская лесотехническая академия

Исследовано изменение электропроводности древесины березы в результате процессов, протекающих при ее термообработке в интервале температур 20—900°C. Показана возможная взаимосвязь минимума на кривой электропроводности и концентрации свободных радикалов, образующихся при деструкции. На основании величин, кажущейся энергии активации проводимости и знака термо э. д. с. сделано предположение, что у твердых остатков термообработки при 170—900°C преобладает дырочный механизм проводимости. В целом увеличение степени термообработки древесины приводит к снижению кажущейся энергии активации проводимости твердого остатка от 1,66 до 0,05 эВ. Структурные превращения твердого остатка заканчиваются по достижении температур 800—900°C образованием относительно термостабильной угольной структуры.

Древесина — типичный диэлектрик, обладающий низкой удельной электропроводностью [5]. Термообработка древесины приводит к разрушению первоначальной структуры, что находит свое отражение и в изменении электрических свойств. Имеющиеся исследования [8], [9], [11], как правило, отражают характер температурной зависимости электропроводности древесины от влагосодержания, а у древесных углей — влияние конечной температуры выжигания на величину удельной электропроводности [1], что имеет решающее значение для процесса «электротермического» пиролиза древесины [7]. Определенный интерес представляет изучение характера и причин изменения электропроводности непосредственно в процессе термораспада.

Для исследования брали образцы березовой древесины (размером 26×26×1 мм), на поверхность которых для улучшения контакта наносили аквадаковые электроды. С целью одновременной регистрации электросопротивления и линейных размеров образца измерения проводили в dilatометрической ячейке дериватографа ОД-102, в измерительные элементы которой смонтированы токовводы, при постоянном токе напряжением не более 1 В, без охранного электрода, так как предварительные исследования в низкотемпературной области показали наличие объемного механизма проводимости. Сопротивление в процессе нагрева измеряли омметром радиотестера TR-0608 (рабочий диапазон 10<sup>-1</sup>—10<sup>9</sup> Ом) с выходом на самопишущий прибор КСП-4. Скорость нагрева образца в инертной атмосфере гелия 6 град/мин.

По полученным кривым электросопротивления, с учетом изменения линейных размеров образца (рис. 1), строили графики зависимости логарифма электропроводности от обратной температуры (рис. 2 и 3). Энергию активации проводимости  $E$  рассчитывали по уравнению

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{E}{KT}},$$

где  $\sigma$  — электропроводность;  
 $T$  — температура, С°;  
 $K$  — константа Больцмана;

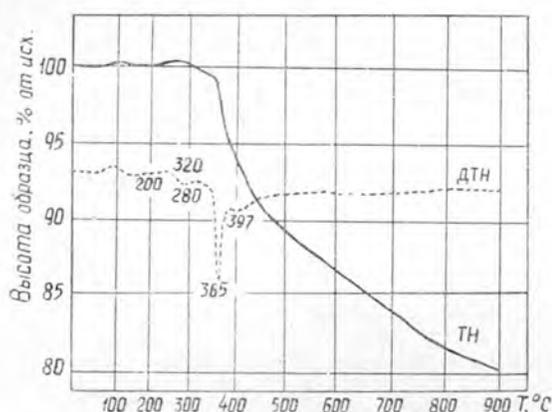


Рис. 1. Изменение линейных размеров древесины березы в торцовом направлении.

ТН — интегральная кривая;  
ДТН — производная.

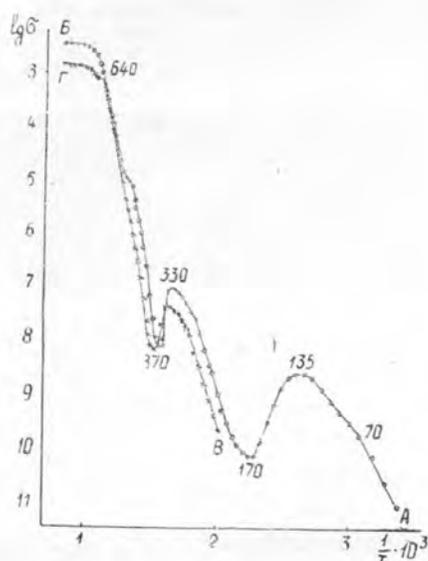


Рис. 2. Изменение электропроводности древесины березы в процессе нагрева в интервале температур 20—900°C.

АБ — в торцовом направлении; ВГ — в тангенциальном направлении.

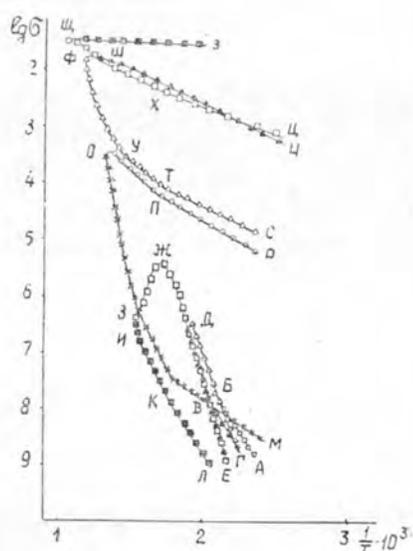


Рис. 3. Кривые температурной зависимости электропроводности от степени термообработки древесины.

АБ — нагревание до 210°C; БВГ — охлаждение; ГБД — нагревание до 255°C; ДВЕ — охлаждение; ЕВДЖЗ — нагревание до 390°C; ЗКЛМ — охлаждение; НВОЗП — нагревание до 490°C; ПРС — охлаждение; ТУФХ — нагревание до 600°C; ХЦ — охлаждение; ЧЩЦ — нагревание до 900°C; ШЭ — охлаждение.

Как видно из полученных кривых (рис. 2), общий характер изменения электропроводности в торцовом и тангенциальном направлениях одинаков. Наблюдаемое несовпадение кривых обусловлено анизотропией электропроводности [5], а также структурными различиями отдельных образцов. В интервале 20—170°C древесина еще не претерпевает значительных превращений, и наблюдаемое изменение линейных размеров, а также электропроводности обусловлено, в основном,

процессами удаления влаги из образца. Рассчитанные значения кажущейся энергии активации проводимости приведены в табл. 1.

Таблица 1

Температура, °С	20—70	70—135	170—330	370—450	450—640	640—900
Энергия активации, эВ	0,91	0,54	1,54	2,92	2,22	0,22

По данным Давидсона [8], снижение влагосодержания древесины приводит к уменьшению электропроводности и увеличению энергии активации проводимости. На основании данных о миграции в древесине радиоактивных ионов под воздействием электрического поля, Лин [10] пришел к выводу об ионном механизме проводимости древесины. Зависимость электропроводности и энергии активации от влагосодержания он объясняет полярным взаимодействием ионов древесины с молекулами воды [11].

В связи с этим характер кривой электропроводности на участке 20—170°C можно объяснить следующим образом. Наклон кривой на участке 30—70°C характеризует энергию активации проводимости влаги, находящейся в клеточных стенках древесины. По мере повышения температуры влагонасыщение стенок снижается и влага выделяется в поры и капилляры, где, конденсируясь, становится «свободной», вследствие чего и происходит наблюдаемое на участке 70—135°C снижение энергии активации проводимости. Дальнейшее повышение температуры приводит не только к интенсификации процесса удаления влаги из клеточных стенок, но и к ее испарению из пор и капилляров, что на кривой электропроводности отражается в падении проводимости образца на участке 135—170°C. При 170°C наступает полное обезвоживание образца.

Дальнейшее повышение температуры от 170 до 330°C приводит к росту электропроводности одновременно с началом термодеструкции древесины, характеризующейся реакциями декарбонизации и дегидратации [4]. Минимум в интервале 330—450°C наблюдается при термораспаде основных структурных единиц макромолекул древесины. На кривой ДТН (рис. 1) в этом интервале температур линейные размеры образца изменяются с максимальной скоростью. Последующие изменения образовавшейся угольной структуры приводят к интенсивному росту электропроводности образца вплоть до температуры 640°C, после чего наклон кривой значительно меняется.

С целью выяснения влияния процессов, протекающих при термодеструкции образца, на характер получаемой зависимости, были проведены измерения электропроводности при ступенчатом нагреве. В этом случае начальные участки кривых охлаждения и повторного нагревания дают характер температурной зависимости электропроводности промежуточных структур термораспада. Исходя из полученных величин кажущейся энергии активации проводимости для участка 170—330°C (рис. 3, табл. 2), а также положительного знака термо-э.д.с. образцов, термообработанных до 345 и 700°C, можно предположить наличие дырочного механизма проводимости. Но так как термо-э.д.с. измеряли в атмосфере воздуха, а кислород изменяет термо-э.д.с. в положительную сторону, то не исключено, что носителями тока являются преимущественно электроны, а дырочная проводимость — результат адсорбции кислорода [3]. Кроме того, дырочная проводимость может

Таблица 2

Конечная температура термообработки, °С	Нагревание		Охлаждение	
	Участок кривой	Энергия активации, эВ	Участок кривой	Энергия активации, эВ
210	АБ	0,79	ВГ	0,73
255	ГД	0,98	ДЕ	1,66
390	ЕЖ	1,66	КЛ	0,76
490	МН	0,34	ПР	0,24
600	СТ	0,24	ЩЧ	0,23
900	ХЦ	0,21	ЩЭ	0,05

быть также обусловлена присутствием образующихся при термообработке относительно стабильных свободных радикалов, являющихся ловушками для электронов.

Рост энергии активации в интервале 170—330°С с увеличением степени термообработки, по-видимому, обусловлен затрудненностью перехода носителей тока на отдельные проводящие участки структуры вследствие частичной деструкции лигнина, гемицеллюлоз и аморфной части целлюлозы. Согласно данным рентгеноструктурного анализа [4], целлюлозная структура разрушается полностью лишь при температуре выше 300°С.

Падение электропроводности в интервале температур активного термораспада 330—370°С (рис. 2) необратимо. Данные ЭПР [2] показывают, что при термодеструкции древесины рост сигнала наиболее силен в интервале 360—420°С, а к 450°С концентрация ПМЦ снижается до минимального значения. Начальное усиление сигнала наблюдается при наибольшей скорости потери веса образца. Согласно исследованию Тальрозе [6], свободные радикалы в твердом теле могут быть ловушками для электронов, так как имеют положительную энергию сродства к ним. На основании этого можно предположить, что причиной падения электропроводности на участке 330—370°С является резкое увеличение концентрации свободных радикалов, образующихся при термораспаде основных структурных единиц.

Прогрев древесины, разрушающий первоначальные молекулярные кристаллы и приводящий к образованию специфической малоупорядоченной угольной структуры, способствует улучшению электропроводящих свойств за счет увеличения областей полиоспряжения и усиления взаимодействия между ними [3]. По данным рентгеноструктурного анализа [4], в интервале температур 450—900°С не происходит упорядочения структуры угля, а лишь увеличивается степень конденсированности ароматических ядер макромолекул, что должно приводить к возрастанию внутримолекулярной подвижности электронов, а сокращение межмолекулярных расстояний между конденсированными ароматическими ядрами — к облегчению межмолекулярных переходов. В результате этого происходит снижение энергии активации проводимости в области 450—900°С при увеличении степени термообработки.

Различие на 2 эВ величин энергии активации проводимости, полученных при первичном и вторичном нагреваниях для интервала 450—640°С, обусловлено непрерывным изменением структуры угля, а также диффузией образующихся при деструкции летучих продуктов, таких как СО, СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>, Н<sub>2</sub> и др. При достижении температуры 800—900°С последующее изменение электропроводности крайне незначительно, наклон кривых первичного нагревания и последующего охлаждения совпадает, что, по-видимому, обусловлено завершением структурных

превращений и образованием относительно термостабильной угольной структуры.

### Выводы

1. Характер изменения электропроводности древесины березы в процессе термораспада не зависит от направления измерений и, в основном, определяется физико-химическими процессами, протекающими при деструкции.

2. Минимум кривой электропроводности в интервале температур активного термораспада, по-видимому, обусловлен изменением концентрации свободных радикалов, образующихся в процессе деструкции. В целом по мере увеличения степени термообработки электропроводность увеличивается, а энергия активации проводимости уменьшается от 1,66 до 0,05 эВ.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Аграновский И. И., Гайлевский Л. И. — «Химические волокна», 1961, № 3. [2]. Домбург Г. Э., Сергеева В. М., Кошик М. Ф., Сална Л. Я. — «Известия АН Латвийской ССР», сер. хим. № 4, 1968, с. 497—501. [3]. Дулов А. А., Слинкин А. А. Органические полупроводники. М., «Наука», 1970, с. 82. [4]. Попова Л. Г. Исследование некоторых вопросов образования древесного угля. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1971. [5]. Спиридонов В. М. В сб.: Механическая технология древесины, 13. Минск, 1968, с. 90—94. [6]. Тальрозе В. А. — «Известия АН СССР», сер. хим. № 2, 1959, с. 369. [7]. Федоров В. А. — «Химическая переработка древесины», научные труды ЛТА, 1972, № 152, с. 55—58. [8]. Davidson R. W. — «Forest Products J.», 1958, VIII, № 5, p. 160—164. [9]. Lin R. T. — «Forest Products J.», 1965, XV, № 11, p. 506—513. [10]. Lin R. T. — A study of electrical conduction in wood. Ph. O. Thesis, State Univ. New-York, Coll. For. at Syracuse Univ., Syracuse, 1965. [11]. Lin R. T. — «Forest Products J.», 1967, 17, № 7, p. 54—60.

Поступила 4 июня 1974 г.

УДК 519:634.0.86

## О ПОДОБИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СУЛЬФАТНОЙ ВАРКИ

Р. З. ПЕН, Л. Г. ХАУСТОВА, Г. М. ИОФФЕ, И. И. СИДОРОВА

Сибирский технологический институт

Проведена оценка подобия статистических моделей процесса сульфатной варки древесины, полученных на базе лабораторных и полужаводских исследований. Показано, что изменение масштаба объекта при сульфатной варке существенно влияет лишь на величину свободных членов моделей; остальные коэффициенты регрессии при этом достаточно устойчивы.

Статистическое моделирование все шире используют при изучении и оптимизации различных технологических процессов. Как правило, работу по моделированию и оптимизации начинают в лаборатории, а затем переходят к проверке полученных результатов в производственных условиях. При этом исследователя интересует вопрос: в какой степени результаты, полученные на лабораторном оборудовании, можно применить для анализа того же процесса, реализованного в более крупном масштабе?

Нами проведена работа по оценке подобия статистических моделей процесса сульфатной варки древесины, полученных на базе лабораторных и полужаводских исследований. Выполнены две серии одно-

ступенчатых сульфатных варок одной и той же партии древесины сосны. Первая серия варок реализована в экспериментальном цехе Братского ЛПК в варочных котлах емкостью 7 м<sup>3</sup>, снабженных системой циркуляции щелока. Варки второй серии проведены в лаборатории в герметически закрытых стальных стаканах емкостью 500 мл, помещенных в масляный термостат. Каждый из экспериментов первой серии повторяли 7 раз (с рандомизацией), лабораторные варки — 3 раза. Выход целлюлозы в полуварочных условиях определяли методом варки в кислотоупорном сетчатом стаканчике, подвешенном внутри котла [3].

Во всех варках продолжительность подъема температуры до конечной 150 мин; расход активной щелочи в древесине в ед. Na<sub>2</sub>O — 17%; степень сульфидности щелока 35%; гидромодуль варки 4,0.

Переменные факторы X<sub>1</sub> (температура варки, °C) и X<sub>2</sub> (продолжительность варки при конечной температуре, мин) варьировали в соответствии с планом Коно [2]. Наблюдаемыми параметрами были выход твердого остатка в процентах к абс. сухой древесине (y<sub>1</sub>) и жесткость целлюлозы в ед. Каппа (y<sub>2</sub>).

Условия варок и их результаты приведены в табл. 1 в графах 2—5, 8, 9.

Таблица 1

№ п/п	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Первая серия				Вторая серия				Третья серия	
			$\bar{y}_{11}$	$\bar{y}_{21}$	$\bar{y}'_{11}$	$\bar{y}'_{21}$	$\bar{y}_{12}$	$\bar{y}_{22}$	$\bar{y}'_{12}$	$\bar{y}'_{22}$	$\bar{y}_{13}$	$\bar{y}_{23}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	176	120	41,4	23,8	-1,08	-1,01	42,4	26,3	-1,29	-1,24	39,8	20,8
2	170	120	42,1	27,2	-0,52	-0,54	44,0	31,5	-0,43	-0,63	42,1	27,5
3	176	60	42,8	31,1	0,02	0,02	46,5	39,5	0,79	0,30	43,1	29,5
4	170	60	45,4	46,2	2,14	2,14	48,9	54,1	2,00	2,00	47,0	44,9
5	176	90	41,9	25,8	-0,71	-0,72	43,6	28,9	-0,66	-0,93	41,6	23,6
6	170	90	43,5	35,5	0,62	0,63	45,3	39,4	0,21	0,29	43,0	33,9
7	173	120	41,7	25,8	-0,84	-0,87	43,2	32,6	-0,84	-0,50	41,1	22,9
8	173	60	43,5	35,4	0,60	0,62	45,9	44,3	0,51	0,86	43,2	34,7
9	173	90	42,5	29,1	-0,23	-0,26	44,4	35,5	-0,21	-0,16	42,7	29,0

Результаты варок аппроксимировали полиномами второго порядка общего вида

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2. \quad (1)$$

Переменные  $x_i$  в уравнении (1) нормированы. Переход к натуральным значениям X<sub>i</sub> задается формулами

$$x_1 = \frac{X_1 - 173}{3}; \quad x_2 = \frac{X_2 - 90}{30}.$$

Коэффициенты уравнений регрессии и основные статистические характеристики приведены в табл. 2 в графах 2, 3, 6, 7.

Известно, что результаты варки в лабораторном автоклаве не всегда можно воспроизвести в промышленных и полупромышленных условиях; как правило, варка в крупных котлах, снабженных системой циркуляции щелока, протекает более интенсивно, чем в автоклаве. Очевидно, в таких случаях математические модели процесса для этих объектов различны. Можно предположить, что наиболее сильно должны различаться в уравнениях регрессии свободные члены b<sub>0</sub>, близкие по своему физическому смыслу к понятию «средней скорости» процесса.

Таблица 2

Показатели	Первая серия				Вторая серия				Третья серия	
	$y_{11}$	$y_{21}$	$y'_{11}$	$y'_{21}$	$y_{12}$	$y_{22}$	$y'_{12}$	$y'_{22}$	$y_{13}$	$y_{23}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$b_0$	42,43	28,90	-0,261	-0,291	44,03	35,16	-0,443	-0,200	42,14	28,08
$b_1$	-0,83	-4,68	-0,665	-0,657	-0,97	-5,06	-0,491	-0,590	-1,26	-5,39
$b_2$	-1,08	-6,13	-0,867	-0,864	-0,93	-7,91	-0,977	-0,922	-1,72	-6,33
$b_{11}$	0,29	1,86	0,234	0,258	0,61	-0,86	0,304	-0,100	0,47	1,14
$b_{22}$	0,20	1,31	0,158	0,179	0,71	3,44	0,362	0,401	0,27	1,21
$b_{12}$	0,49	2,91	0,389	0,411	0,18	2,34	0,086	0,72	0,37	2,16
$s^2\{\bar{y}\}$	0,041	1,564	—	—	0,771	0,504	—	—	0,498	1,030
$s^2_{ост}$	0,033	0,830	—	—	0,463	1,430	—	—	1,020	0,900

Остальные коэффициенты, отражающие зависимость этой средней скорости от условий варки, более устойчивы к изменению масштаба объекта.

Как и предполагалось, свободные члены в моделях, полученных на базе лабораторных варок, более высокие, чем в моделях полужаводских варок. Статистически строгое попарное сравнение коэффициентов невозможно, поскольку ковариационная матрица недиагональна. Для оценки подобия моделей использован критерий  $\chi$ , предложенный В. П. Бородюком [1],

$$\chi = \frac{N - p(k + 1)}{(k + 1)(p - 1)} \cdot \frac{\sum_{q=1}^p B_q^T X_q Y_q - B^T X^T Y^T}{Y^T Y - \sum_{q=1}^p B_q^T X_q^T Y_q} \quad (2)$$

где  $X = \begin{bmatrix} X_1 \\ \dots \\ X_p \end{bmatrix}$ ;  $Y_q = \begin{bmatrix} y_{1q} \\ \dots \\ y_{Nq} \end{bmatrix}$ ;  $Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ \dots \\ Y_p \end{bmatrix}$ ;  $N = \sum_{q=1}^p N_q$ ;

$X_q, Y_q$  — матрицы наблюдений ( $q = 1, 2, \dots, p$ );

$B_q$  — матрица коэффициентов;

$N_q$  — число опытов;

$k + 1$  — число оцениваемых параметров в уравнении регрессии;

$p$  — количество сравниваемых серий наблюдений.

Если расчетное значение  $\chi$  меньше табличного критерия Фишера  $F_\alpha (f'; f'')$  при числе степеней свободы  $f' = (k + 1)(p - 1)$  и  $f'' = N - p(k + 1)$ , то сравниваемые модели можно признать подобными; в противном случае гипотеза о подобии моделей отвергается. Из сравнения результатов первой и второй серий варок получаем по формуле (2):

для выхода

$$\chi'_1 = 16,87 > F_{0,05}(6; 6) = 4,28;$$

для жесткости

$$\chi'_2 = 12,89 > F_{0,05}(6; 6) = 4,28.$$

Следовательно, модели выхода и жесткости существенно различаются.

Чтобы исключить влияние свободного члена на результаты сравнения моделей, выходные параметры нормировали. Нормированные значения этих параметров приведены в табл. 1 в графах 6, 7, 10, 11, а коэффициенты регрессии для них — в табл. 2 в графах 4, 5, 8, 9. Теперь критерии принимают значения  $x'_{1н} = 0,87$ ;  $x'_{2н} = 0,61$ . В результате нормирования выходных параметров модели для сравниваемых объектов стали тождественными.

С целью выравнивания интенсивности процессов варки в лабораторных и полужаводских условиях проведена серия лабораторных варок (третья серия) той же партии сырья по тем же режимам, что и первые две серии, но с несколько увеличенным расходом активной щелочи (17,5% против 17,0%).

Результаты варок представлены в табл. 1 в графах 12, 13, а коэффициенты регрессии и статистические характеристики моделей — в табл. 2 в графах 10, 11. При сравнении соответствующих моделей первой и третьей серий варок получены следующие значения критерия:  $x''_1 = 0,47$ ;  $x''_2 = 2,35$ .

Поскольку после исключения влияния свободного члена уравнений  $b_0$  модели лабораторных и полужаводских сульфатных варок оказались тождественными, значит причина различий — свободные члены; остальные коэффициенты регрессии достаточно устойчивы к изменению масштаба объекта, что позволяет применять статистические модели, полученные на базе лабораторных исследований, для оптимизации варочного процесса. Однако эти модели не могут быть использованы как интерполяционные формулы, так как в них различны свободные члены.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Бородюк В. П. Проверка однородности статистических данных в регрессионном анализе.— В сб.: Проблемы планирования эксперимента. М., «Наука», 1969, с. 7—12. [2]. Голикова Т. И., Микешина Н. Т. Свойства Д-оптимальных планов и методы их построения.— В сб.: Новые идеи в планировании эксперимента, под ред. В. В. Налимова. «Наука», 1969, с. 21—58. [3]. Хаустова Л. Г., Пен Р. З., Иоффе Г. М., Сидорова И. И. Определение выхода целлюлозы из древесины.— Целлюлоза, бумага, картон. Реферативная информация, 1972, № 32, с. 10.

Поступила 3 марта 1975 г.

УДК 546.22:634.0.813.11

## АНАЛИЗ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ВАРОЧНЫХ РАСТВОРОВ

Ю. А. МАЛКОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Разработана методика полярографического анализа полисульфидных варочных растворов с целью определения в них ионов сульфида, тиосульфата, полисульфидной и элементарной серы. Показано, что наличие в анализируемом растворе органических веществ не мешает определению перечисленных ионов.

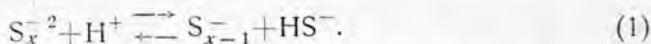
Основные компоненты полисульфидных варочных растворов — NaOH, Na<sub>2</sub>S, S, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. В ряде работ [6], [8] показано, что в реакциях делигнификации древесины участвуют также ионы тиосульфата, поэтому определение их в щелоках при изучении варочного процесса представляет интерес.

Обычные аналитические методы (ацидиметрия, йодометрия, потенциометрия и др.) считаются неприемлемыми для количественных определений компонентов полисульфидных щелоков из-за присутствия в растворе органических веществ — продуктов деструкции древесины. Ацидиметрически можно количественно определять полисульфидную серу лишь в соединениях  $\text{Na}_2\text{S}_x$ , где  $x \geq 4$  [2]; анионообменный метод требует больших затрат времени на анализ и наличия специальной смолы [7].

Предлагаемый нами метод полярографического анализа варочных растворов, содержащих полисульфидную серу, достаточно быстр, хорошо воспроизводится и имеет высокую чувствительность.

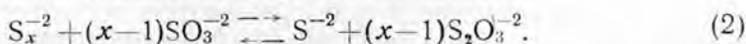
Общую и активную щелочь в полисульфидных щелоках можно определять ацидиметрически с добавлением формальдегида и хлористого бария [2], [4]. Потребовалось значительно изменить существующие методики полярографического определения сульфида, полисульфида, тиосульфата и элементарной серы [3], так как в щелоках перечисленные ионы присутствуют совместно с органическими веществами.

Сульфид-ион на фоне гидрата окиси натрия дает четкую анодную волну ( $E_{1/2} = -0,76 \text{ В}$ ). Но в сильнощелочных растворах часть ионов сульфида связана в ионах полисульфида. При подкислении раствора до  $\text{pH} = 8 \div 9$  полисульфидные ионы разрушаются до серы и гидросульфида [4]



Следовательно, всю сульфидную серу варочного раствора можно определить полярографически при  $\text{pH}$ , равном  $\sim 9$ . В качестве фона применяли буферный раствор тетрабората натрия с  $\text{pH} = 9,0$ . Между величиной диффузионного тока ( $E_{1/2} = -0,61 \text{ В}$ ) и концентрацией сульфид-ионов наблюдалась линейная зависимость.

Прямое полярографическое определение ионов полисульфида в полисульфидных варочных растворах невозможно из-за наличия в растворе избыточной сульфидной серы, элементарной серы и органических веществ [5]. Поэтому в основу метода определения полисульфидной серы была положена реакция ее с сульфитом по схеме



Полярографическое определение образующихся ионов тиосульфата проводили на фоне  $0,1 \text{ н. KNO}_3$  при  $\text{pH} = 7,0$  по величине анодной волны ( $E_{1/2} = -0,05 \text{ В}$ ). При избытке сульфита реакция протекает количественно за 15 мин [7]. Для устранения влияния избытка сульфита и сульфида на форму полярографической кривой к раствору добавляли нейтрализованный формалин.

Элементарную серу можно определить из разности между общей серой, определяемой на фоне спиртового раствора ацетата натрия по величине катодной волны ( $E_{1/2} = -0,71 \text{ В}$ ) [1], и полисульфидной серой, определяемой через тиосульфат.

Анализы модельных растворов показали, что нижний предел чувствительности метода зависит от характеристик капающего ртутного электрода. Применяемый в работе капилляр позволял определять до 1 мг серы и до 5 мг сульфида и тиосульфата на 1 л анализируемого раствора.

Результаты количественного определения компонентов модельных полисульфидных растворов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Модельный раствор			Количество определенных компонентов					
Количество		Формула	Na <sub>2</sub> S, г/л ед. Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , г/л ед. Na <sub>2</sub> O	S <sub>x</sub> <sup>-2</sup> , г/л	S <sub>x</sub> <sup>0</sup> , г/л	S <sub>x</sub> <sup>-2</sup> , г/л	Формула
Na <sub>2</sub> S, г/л ед. Na <sub>2</sub> O	растворенной S, г/л							
			полярографически*				ацидиметрически	
3,1	3,82	Na <sub>2</sub> S <sub>3,4</sub>	3,0	0,1	3,7	0,1	3,9	Na <sub>2</sub> S <sub>3,46</sub>
31,0	3,82	Na <sub>2</sub> S <sub>1,2</sub>	29,9	0,8	3,8	—	4,2	Na <sub>2</sub> S <sub>1,22</sub>

\* Максимальное отклонение результатов в параллельных определениях каждого компонента не превышало 2,5% (отн.).

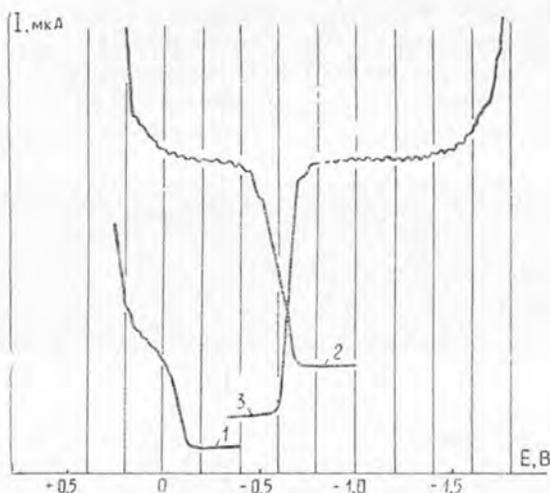


Рис. 1. Полярограммы тиосульфата (кривая 1), сульфида (кривая 2) и элементарной серы (кривая 3).

На рис. 1 показаны полярографические кривые определяемых ионов. Форма полярограмм при определении этих компонентов в щелочах от различных варок древесины остается неизменной, что позволяет судить о применимости этого метода для определения ионов сульфида и тиосульфата, полисульфидной и элементарной серы в присутствии органических веществ — продуктов варки древесины.

#### Методическая часть

В работе использовали полярограф LP-7 с ртутным капающим электродом ( $m = 1,0 \text{ мг с}^{-1}$ ;  $\tau = 6 \text{ с}$ ) и насыщенным каломельным электродом сравнения. Ячейку термостатировали при  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ . Все растворы перед снятием полярограмм продували в течение 15 мин азотом, очищенным от кислорода. Ацидиметрическое титрование проводили по методике [2] на БАТ-12 ЛМ, потенциометрически сульфид натрия определяли титрованием аммиаком серебра с индикаторным сульфид-серебряным электродом ЭСС-01.

Модельные полисульфидные растворы готовили путем растворения соответствующих количеств элементарной серы в 0,1н. и 1н. растворах сульфида натрия при температуре  $80^\circ\text{C}$ .

Для построения калибровочных графиков использовали приготовленные из фиксанала 0,1н. и 0,5н. растворы тиосульфата натрия, 0,1н. и 0,5н. растворы сульфида натрия, оттитрованные потенциометрически, и растворы серы, приготовленные путем растворения соответствующих навесок элементарной серы в спирто-бензоле.

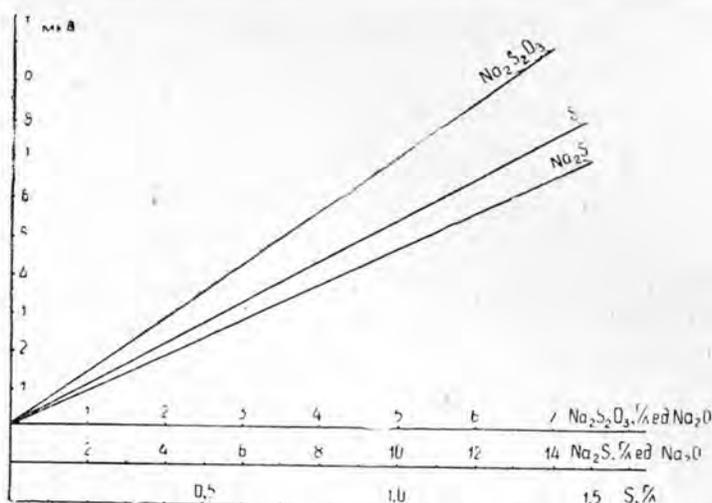


Рис. 2. Калибровочные прямые для определения ионов сульфида ( $k = 2,125$  г/л/мкА), тиосульфата ( $k = 0,7$  г/л/мкА) и элементарной серы ( $k = 0,185$  г/л/мкА).

1. Определение сульфид-ионов. Исследуемый раствор в количестве 0,2 мл (с концентрацией  $\text{Na}_2\text{S}$  не более 15 г/л в ед.  $\text{Na}_2\text{O}$ ) разбавляли в колбе на 50 мл фоном — 0,05М раствором тетрабората натрия с  $\text{pH} = 9,0$ . Полярограмму снимали при анодной поляризации ртутного электрода в пределах потенциалов  $-1,0$ — $0,0\text{В}$ . Замеряли высоту полярографической волны при  $E_{1/2} = 0,61\text{В}$ , и по калибровочной прямой (рис. 2) определяли концентрацию сульфид-ионов в анализируемом растворе.

2. Определение тиосульфат-ионов. В колбе на 50 мл к 1 мл исследуемого раствора приливали 1 мл нейтрализованного раствора формалина и 20 мл раствора фона — 0,1н.  $\text{KNO}_3$ . Полученный раствор нейтрализовали 1н.  $\text{HCl}$  до  $\text{pH} = 7,0$  и фоном снова доводили объем раствора до метки. Полярограмму снимали при анодной поляризации ртутного электрода в пределах потенциалов  $-0,4$ — $+0,2\text{В}$ . По высоте полярографической волны при  $E_{1/2} = -0,05\text{В}$  из калибровочного графика определяли концентрацию тиосульфата.

3. Определение полисульфидной серы. В колбе на 50 мл, 1 мл анализируемого раствора смешивали с 1 мл 0,5М раствора сульфита натрия. Через 15 мин (после исчезновения желтой окраски) к раствору приливали 1 мл формалина и определяли содержание ионов тиосульфата по пункту 2. Количество полисульфидной серы определяли, как количество образовавшихся ионов тиосульфата, по формуле (2) с учетом коэффициента пересчета 0,516.

4. Определение элементарной серы. В колбе на 25 мл 1 мл анализируемого раствора разбавляли фоном (14 г ацетата натрия, 6 мл ледяной уксусной кислоты и 50 мл  $\text{H}_2\text{O}$  на 1 л этилового спирта) до метки. Полярограмму снимали при катодной поляризации каплюющего ртутного электрода в пределах потенциалов  $-0,3$ — $-1,7\text{В}$ . Высота волны при  $E_{1/2} = -0,7\text{В}$ , отложенная на калибровочном графике, дает суммарное содержание полисульфидной и элементарной серы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Горбунова О. Ф., Богомолов Б. Д. Полярографическое определение элементарной серы в тиолигнинах. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1965, № 5, с. 153.  
 [2]. Комшилов Н. Ф. и др. Сульфатный черный щелок и его использование. М., «Лесная промышленность», 1969. [3]. Крюкова Т. А., Синякова С. И., Арефьева Т. В. Полярографический анализ. М., Госхимиздат, 1969. [4]. Ahlgren P. An Acidimetric method for the Determination of Hydroxide, Sulfide, Excess Sulfur and Carbonate in Polysulfide Solutions. — «Svensk Papperstidning», 70, 1967, № 21, 730—733. [5]. Hartler N., Libert J., Akerlund G. Dissolution of Sulfur in Alkaline Liquors. Degree of Conversion from Sulfur to Polysulfide excess Sulfur. — «Svensk Papperstidning», 75, 1972, № 16, 673—676. [6]. Jansen L. a. Samuelson O.

Oxidation of Lignin by Polysulfide Solutions.—«Svensk Papperstidning», 70, 1967, № 19, 607—609. [7]. Olsson J. a. Samuelson O. Determination of Sulfide, Thiosulfate a. Polysulfide in Black Liquors.—«Svensk Papperstidning», 68, 1965, № 6, 179—185. [8]. Olsson J. a. Samuelson O. Inorganic Reactions during Polysulfide Cooking.—«Svensk Papperstidning», 69, 1966, № 20, 703—710.

Поступила 31 декабря 1974 г.

УДК 634.0.813

## ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ И УФ-СПЕКТРОВ ЩЕЛОКОВ ПРИ СУЛЬФИТНОЙ ВАРКЕ ДИОКСАНЛИГНИНА, ХОЛОЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ЕЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Г. Ф. ПРОКШИН, К. Г. БОГОЛИЦЫН

Архангельский лесотехнический институт

Установлено, что наибольший вклад в оптическую плотность щелоков при сульфитной варке целлюлозы вносит лигнин, переходящий при делигнификации в раствор. Оптическую плотность щелоков, измеряемую в области 315—320 нм, можно использовать для прямого контроля процесса делигнификации.

Большой интерес для производства представляет разработка метода прямого контроля процесса делигнификации при варке сульфитной целлюлозы. Для определения возможности применения спектрофотометрического метода нами изучены оптические характеристики варочного щелока в процессе сульфитной варки диоксанлигнина (ДЛ), холоцеллюлозы (ХЦ) и еловой древесины в виде щепы.

Лабораторные варки ДЛ и ХЦ проводили в стеклянных пробирках, помещаемых в стальные автоклавы-стаканы емкостью 300 мл, которые погружали в электрообогреваемую глициериновую баню. Варку щепы проводили в автоклавах. Для выравнивания давления в автоклаве стеклянные пробирки погружали в варочную кислоту, имеющую тот же состав, который заливали в пробирки. Осуществляя нагрев по заданному температурному режиму, автоклавы извлекали из бани через каждые полчаса по достижении конечной температуры и быстро охлаждали в воде. Из каждого автоклава (пробирки) отбирали по 1 мл щелока и вносили в стаканчик с 20 мл дистиллированной воды; 0,1н. едким натром доводили до pH = 4,5 с целью перевода свободной SO<sub>2</sub> в бисульфитную форму. Затем пробу из стаканчика переносили в мерную колбу и доводили до метки дистиллированной водой.

Разведение растворов для фотометрирования при варке ДЛ 1:25, ХЦ — 1:50; при варках древесины разведение изменялось от 1:50 в начале варки до 1:5000 в конце варки. Спектры записывали в области 250—360 нм на спектрофотометре СФ-4. Варки проводили с кислотой на кальциевом основании (1% СаО и 7% SO<sub>2</sub>). При варках ДЛ гидромодуль 1:700 (навеска 10 мг), ХЦ — 1:10 (навеска 1,5 г), древесины — 1:5 (навеска 20 г абс. сухой щепы).

Общее разведение щелока перед фотометрированием, с учетом гидромодуля, для ДЛ составило 17 500, для ХЦ — 500, для еловой щепы — 25 000.

На рис. 1 и 2 приведены температурные режимы варок, а также изменение оптической плотности  $D$  и выхода  $B$  в ходе варок ДЛ, ХЦ и древесины на различных длинах волн. На рис. 3 представлены УФ-спектры щелоков от этих варок.

Из рис. 1 и 2 видно, что с течением времени оптическая плотность повышается; это повышение особенно заметно по истечении 2—3 ч нагревания. Это соответствует снижению выхода веществ и, следовательно, увеличению содержания лигнинных и углеводных веществ в варочном растворе.

После достижения определенных значений на всех кривых оптическая плотность снижается. Кривая изменения оптической плотности

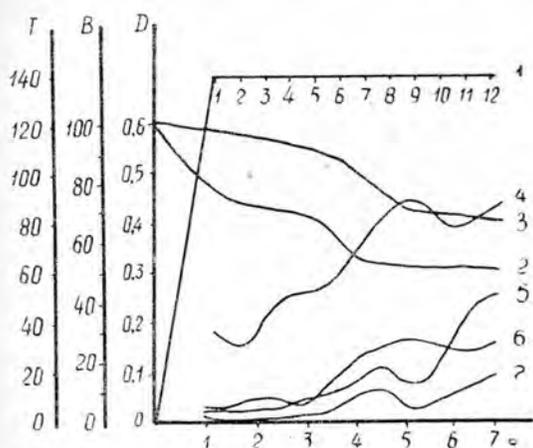


Рис. 1.

1 — температурный график варки с точками отбора проб; 2, 3 — изменение выхода ДЛ и ХЦ; 4, 5 — изменение оптической плотности щелока при  $pH=4,5$  и  $\lambda=280$  нм; 6, 7 — то же при  $\lambda=320$  нм.

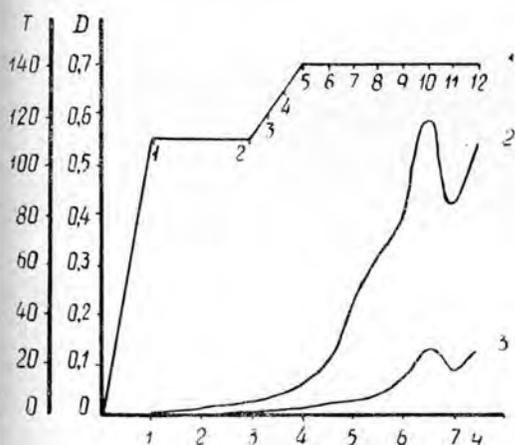


Рис. 2.

1 — температурный график варки с точками отбора проб; 2 — изменение оптической плотности щелока при  $pH=4,5$  и  $\lambda=280$  нм; 3 — то же при  $\lambda=320$  нм.

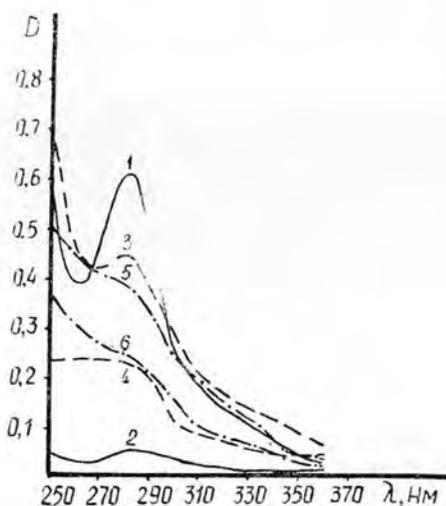


Рис. 3.

1, 2 — для щелока проб № 5 и 9 от варки еловой щепы; 3, 4 — то же от варки ДЛ; 5, 6 — то же от варки ХЦ.

при 320 нм повторяет кривую при 280 нм. Полоса поглощения в области 280—285 нм, как известно, характерна для лигнина. Оказалось, что в этой области поглощает не только лигнин, но и углеводные компоненты варочного щелока [1], [2] (рис. 3). Следовательно, оптическая плотность при варке древесины соответствует содержанию в щелоках не только лигнина, но и углеводов. Измерение оптической плотности при 320 нм проводилось с целью определения возможности фиксации процесса делигнификации в ближней УФ-области на границе перехода в видимую область.

Сравнение значений  $D$  при варке ДЛ и ХЦ, с учетом разведения фотометрируемых проб, показывает, что вклад углеводов в оптическую плотность незначителен ( $D_{\text{угл}} = 0,03 \div 0,10$  при общем значении плотности 0,80). Учитывая, что при варке древесины в раствор переходит примерно одинаковое количество лигнина и гемицеллюлоз, можно

считать, что вклад в поглощение, вносимый тем и другим компонентами, определяется соответствующим удельным коэффициентом поглощения  $[\alpha]$  лигнина и гемицеллюлоз. По нашим расчетам, на основе варок ДЛ и ХЦ с Са-основанием для лигнина  $[\alpha] = 1820$ , для гемицеллюлоз —  $1,76 \text{ л} \cdot \text{г}^{-1}$ . Следовательно, вклад в поглощение, вносимый нелигнинными компонентами, незначителен и изменение плотности щелока при 280 нм определяется, главным образом, изменением содержания лигнина.

Рис. 3 показывает, что в области 280 нм имеется более выраженный максимум при варке древесины, чем при варках ДЛ и ХЦ. Снижение интенсивности на кривых изменения плотности при варках ДЛ, ХЦ и древесины наблюдается тогда, когда процесс делигнификации, в основном, завершается (уменьшение выхода, судя по кривым, происходит медленно или не происходит совсем). Это дает основание считать, что в варочном щелоке в этот момент происходят интенсивные изменения в компонентах, соответствующие изменениям коэффициентов молярного поглощения, и, как следствие, плотности.

Нами было показано, что и после восстановления боргидридом характер изменения кривых сохраняется. Следовательно, речь идет о более глубоких изменениях, чем образование карбонильных групп, восстанавливаемых боргидридом. Фурфурол восстанавливается боргидридом [3], поэтому изменения плотности не могут быть объяснены образованием фурфурола. Варка ДЛ показывает, что речь идет об изменениях в лигнине или, точнее, в лигносульфонатах, перешедших в раствор. По-видимому, это связано с гидролизом лигносульфонатов, образованием фенольных гидроксидов, внедрением ауксохромов в ароматическую систему лигнина в  $\alpha$ -положение ароматической цепи, а также с процессами конденсации.

Судя по выходу ДЛ, имеются два этапа быстрого растворения лигнина: первый — в период нагревания, когда выход снижается до 70%; второй — спустя 3 ч, когда выход резко падает до 52%. При варке ХЦ выход интенсивно снижается лишь спустя 3 ч после начала варки. Если при варке ХЦ плотность щелока интенсивно увеличивается при резком снижении выхода, то при варке ДЛ оптическая плотность повышается и тогда, когда выход его падает незначительно. Изменение плотности подтверждает, что ДЛ, переходящий в раствор, претерпевает существенные химические изменения, которые в спектре выражаются увеличением «хромофорности».

Таким образом, наибольший вклад в оптическую плотность щелоков в УФ-области при  $\lambda = 280$  и 320 нм и  $\text{pH} = 4,5$  вносит лигнин, переходящий в раствор в процессе делигнификации древесины. Максимумы и минимумы на кривых изменения оптической плотности щелоков в процессе варок ДЛ, ХЦ и древесины свидетельствуют о сложных химических реакциях лигнина.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Иванов М. А., Титкова Т. А., Кириюшина М. Ф. Оптические свойства лигнина.— Труды ВНИИБа, 1969, 55. [2]. Иванов М. А., Рачков Г. В. Исследование строения глюкозисульфитных соединений.— Труды ЛТА, 121. Л., 1969. [3]. Никитин В. М., Штрейс Г. Б., Зимницкая В. П. Количественное определение ЛСФ кислот при совместном их присутствии с фурфуролом в водных растворах методом УФ-спектроскопии.— В сб.: Современные методы исследования лигнина. Архангельск, 1970.

УДК 547.458.81

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ВРАЩЕНИЯ РАСТВОРОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С РАЗЛИЧНОЙ СРЕДНЕЙ СТЕПЕНЬЮ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

В. М. ЗАЙЦЕВ, Ю. П. СЫРНИКОВ, Г. Н. ШУЛЬМАН

Ленинградская лесотехническая академия

Получены кривые дисперсии оптического вращения (ДОВ) для кадоксеновых растворов целлюлоз разной степени полимеризации (СП). Установлено влияние СП и состояния растворов целлюлозы на их оптическую активность.

Оптическая активность занимает важное место среди физических свойств веществ, изучаемых с целью установления их химического строения.

Метод измерения оптической активности (ОА) и дисперсии оптического вращения (ДОВ — изменение оптической активности с изменением длины волны поляризованного света) нашел применение в органической химии, в том числе при изучении растворов целлюлозы [3] и ее производных [2], поскольку является чувствительным к изменению конформации полимеров в растворе.

Согласно исследованиям Линдберга и Свана, комплекс целлюлоза — кадоксен, образующийся с участием гидроксильных групп элементарных звеньев при  $C_{(2)}$  и  $C_{(3)}$ , должен быть левовращающим. Если же в комплексообразовании участвуют гидроксильные группы при  $C_{(3)}$  и  $C_{(4)}$ , то получается правовращающий комплекс [3]. Для каждой молекулы целлюлозы возможно образование правовращающего комплекса лишь у нередуцирующего звена; остальные звенья должны образовывать левовращающий комплекс с кадоксеном.

Из этих экспериментально доказанных положений можно сделать вывод, что при снижении степени полимеризации вклад правовращающего комплекса в оптическую активность раствора увеличивается, а абсолютное значение удельного вращения  $[\alpha]_{уд}$  уменьшается. Однако трудно ожидать значительных различий в  $[\alpha]_{уд}$  растворов целлюлоз, когда их степень полимеризации достаточно высока.

С целью проверки этого предположения были исследованы растворы в кадоксене целлюлозы и следующих образцов целлюлозы: очищенного хлопкового линтера; фракций с СП, равными 1650, 560 и 110, высаженных из раствора хлопкового линтера в кадоксене\*; образцов с СП, равными 250, 150 и 10, полученных путем размола линтера на лабораторной вальцевой мельнице.

Измерения проводили на спектрополяриметре СПУ-М в диапазоне длин волн 290—620 нм; точность измерения прибора 0,0025°.

Удельное вращение вычисляли по формуле

$$[\alpha]_{уд} = \frac{100\Delta\alpha}{l \cdot c},$$

\* Эти образцы предоставил нам сотрудник кафедры химии древесины ЛТА С. Е. Соболев.

где  $\Delta\alpha$  — наблюдаемый угол вращения плоскости поляризации, град;  
 $l$  — длина кюветы, дм;  
 $C$  — концентрация, %.

Согласно этой формуле, удельное вращение не зависит от концентрации оптически активного вещества в растворе. Нарушение этого условия свидетельствует о том, что молекулы растворенного вещества взаимодействуют друг с другом; для растворов полимеров взаимодействие заключается прежде всего в образовании ассоциатов. Вероятность образования ассоциатов тем выше, чем больше молекулярный вес (или СП) полимера в растворе. В связи с этим была проведена предварительная работа по определению такой концентрации раствора, которая гарантирует минимальное взаимодействие между молекулами.

Таблица 1

$C, \%$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$[\alpha]$ при $\lambda_{уд} = 450,7$ нм	-106	-107	-110	-98	-94

В табл. 1 приведены результаты, полученные для исходного хлопкового линтера;  $[\alpha]_{уд}$  значительно уменьшается при концентрации 0,4%. Для всех исследованных растворов целлюлозы в качестве рабочей была выбрана концентрация 0,2%.

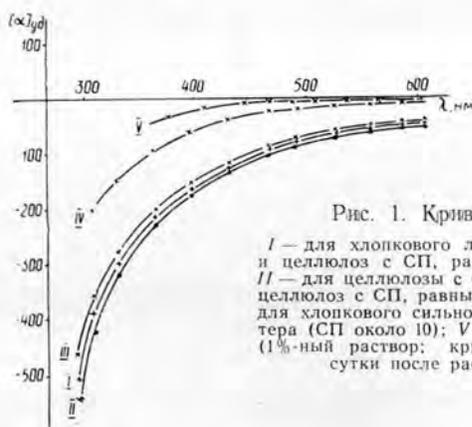
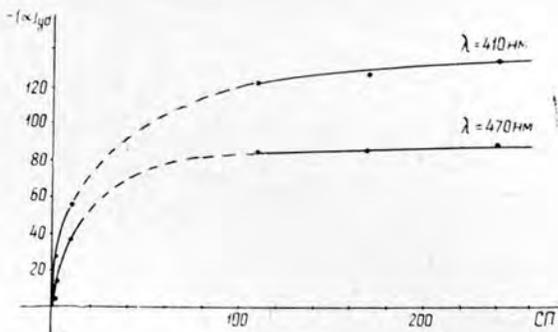


Рис. 1. Кривые ДОВ.

*I* — для хлопкового линтера исходного и целлюлозы с СП, равными 1650 и 250;  
*II* — для целлюлозы с СП=560; *III* — для целлюлозы с СП, равными 150 и 110; *IV* — для хлопкового сильно размолотого линтера (СП около 10); *V* — для целлобиозы (1%-ный раствор; кривая снята через сутки после растворения).

Кривые ДОВ растворов целлобиозы и целлюлоз с разной степенью полимеризации представлены на рис. 1, из которого видно, что для целлюлоз с СП от 1650 до 110 кривые расположены очень близко друг к другу; лишь для образца с СП = 10 и для целлобиозы наблюдается значительное уменьшение удельного вращения. Данные о взаимном расположении кривых ДОВ для целлюлоз со степенью полимеризации 560 и ниже и для целлобиозы согласуются с предварительными выводами, сделанными на основании работы Линдберга и Свана. Исключение составляют кривые ДОВ для исходного линтера и для фракции с СП = 1650, которые занимают примерно то же положение, что и кривая ДОВ для образца с СП = 240. Причина, возможно, заключается в том, что в течение длительного времени после растворения

Рис. 2. Графическая зависимость  $[\alpha]_{уд}$  от СП.

целлюлозы с высокой СП еще существует некоторая взаимосвязь между макромолекулами.

На рис. 2 приведена графическая зависимость  $[\alpha]_{уд}$  от СП для длин волн 410 и 470 нм. Пунктирной линией обозначен предполагаемый ход кривой в интервале СП от 10 до 110. Состояние целлюлозы в растворе, очевидно, зависит не только от ее концентрации и СП, но и от состава растворителя.

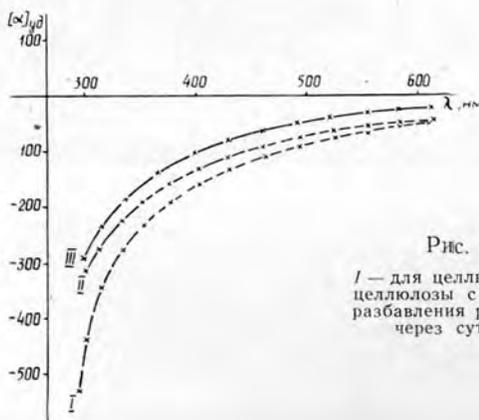


Рис. 3. Кривые ДОВ.

*I* — для целлюлозы с СП=1650; *II* — для целлюлозы с СП=1650 через 3 ч после разбавления раствора водой; *III* — то же через сутки после разбавления.

Известно, что растворы целлюлозы в кадоксене можно разбавить водой в отношении 1 : 1 без осаждения целлюлозы. [1]. На рис. 3 показаны кривые ДОВ разбавленного таким образом раствора фракции с СП=1650 через 3 ч и через сутки после разбавления. Столь заметное изменение дисперсии оптического вращения свидетельствует, по-видимому, о значительном изменении состояния раствора целлюлозы в кадоксене при разбавлении водой. Наблюдение за раствором в течение последующих 10 суток показало, что в дальнейшем значительных изменений кривой ДОВ не происходит.

### Выводы

1. Зависимость между СП и  $[\alpha]_{уд}$  может быть зафиксирована лишь при СП намного ниже 500. При более высокой СП изменение угла вращения очень мало и находится за пределами чувствительности прибора.

2. Изменение  $[\alpha]_{уд}$  наблюдалось во всем исследованном диапазоне длин волн: кривые ДОВ смещались, сохраняя при этом плавность.

3. При разбавлении раствора целлюлозы в кадоксене водой происходит изменение состояния раствора, которое приводит к значительному смещению кривой ДОВ в сторону уменьшения абсолютных значений  $[\alpha]_{уд}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Байклз Н., Сегал Л. Целлюлоза и ее производные, т. 1, М., «Мир», 1974.  
 [2]. Бунтяков А. С., Аверьянова В. М. Высокомолекулярные соединения. Краткие сообщения, т. XIV, № 9, 1972. [3]. Lindberg B., Swan B. Acta Chem. Scand., 17, 1963, 913.

Поступила 20 января 1975 г.

УДК 634.0.867

### СОСТАВ НАДСМОЛЬНОЙ ВОДЫ, ПОЛУЧАЕМОЙ ПРИ ДВУХСТАДИЙНОМ ПИРОЛИЗЕ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННОЙ СИБИРСКОЙ

В. Н. ТВЕРДОХЛЕБОВА, Э. Д. ЛЕВИН

Сибирский технологический институт

Исследована надсмольная вода, полученная при двухстадийном пиролизе лиственницы сибирской. Изучены общие физико-химические характеристики надсмольной воды, состав кислот и фенолов. Показано, что больше половины суммарных фенолов приходится на долю фенола и пирокатехина. Основными компонентами суммарных кислот, выделенных из надсмольной воды, — уксусная и пропионовая кислоты.

Отходы лесопиления и деревообработки составляют крупный резерв сырья для лесохимической промышленности. Перспективный метод их переработки — двухстадийный пиролиз с получением ряда ценных химических продуктов: полукокса, кислот, смолы и газа [5].

В процессе двухстадийного пиролиза образуется значительное количество надсмольной воды: в стадии предпиролиза 21,45%, в стадии пиролиза 7,66% (табл. 1). В состав надсмольной воды входят различные химические вещества. Изучение состава и свойств надсмольной воды позволит определить ее ценность как сырья для дальнейшего использования, а также решить вопрос об обезвреживании промышленных стоков.

Таблица 1

Продукты пиролиза	Выход продуктов, % от абс. сухой исходной древесины	
	1 стадия, $t = 280^{\circ}\text{C}$	2 стадия, $t = 500^{\circ}\text{C}$
Бурая древесина	67,70	—
Полукокс (уголь)	—	28,30
Отстойная смола	0,54	10,58
Растворимая смола	2,89	1,57
Надсмольная вода	21,45	7,66
Газ и потери	10,31	21,16

Предпиролиз проводили на лабораторной установке [4] при найденных ранее [8] оптимальных условиях по выходу карбоновых кислот (температура предпиролиза 280°C, влажность сырья 20%, скорость подъема температуры 2,70 град/мин). В качестве сырья использовали технологические опилки лиственницы сибирской. Вес разовой загрузки 1 кг. В первой стадии были получены твердые (бурая древесина), жидкие и газообразные продукты (табл. 1).

Бурюю древесину подвергали дальнейшему переугливлению на установке скоростного пиролиза во взвешенном состоянии [2] при 500°C и производительности 1,7 кг/ч.

В надсмольной воде, полученной в первой и второй стадиях процесса, известными методами [7] определяли общую кислотность и содержание растворимой смолы; количество фенолов и нейтральных веществ кислотно-щелочным методом.

Таблица 2

Компоненты	Содержание, %	
	1 стадия, $t = 280^\circ\text{C}$	2 стадия, $t = 500^\circ\text{C}$
Общие кислоты	18,86	10,89
Фенолы	6,15	13,34
Нейтральные вещества	1,77	3,65
Растворимая смола	13,45	19,20

Данные о содержании основных компонентов в надсмольной воде приведены в табл. 2, из которой видно, что надсмольная вода, полученная в первой и второй стадиях, имеет существенные различия. В пирогенной воде, полученной при 280°C, содержится кислот в 1,7 раза больше, чем в воде, полученной при 500°C. Выход кислот в пересчете на исходное сырье в первой стадии составил 4,05%, во второй стадии — 0,89%. Из этого следует, что основное количество кислот образуется в ходе предпиролиза. Очевидно, процесс образования карбоновых кислот идет за счет разрушения гемицеллюлоз и связанных с ними ацетильных групп [5]. Поскольку гемицеллюлозы как наименее термостойкий компонент древесины к 280°C разлагаются (содержание их в исходном сырье 16,83%, а в бурой древесине 1,98%), то при дальнейшем переугливлении твердого остатка выход кислот падает. Кроме того, высокие температуры способствуют протеканию реакций декарбонирования [1]. Поэтому при 500°C наряду с образованием жирных кислот интенсифицируется их распад.

На всех стадиях термической деструкции древесины отмечено присутствие фенолов и нейтральных веществ в продуктах пиролиза. Известно, что максимальные выходы этих веществ достигаются в области 400—500°C [6]. Этим, по-видимому, объясняется значительное увеличение содержания фенолов и нейтральных веществ в надсмольной воде, полученной при 500°C (в первой стадии 6,15 и 1,77%, во второй 13,34 и 3,65% соответственно).

Наиболее ценные компоненты надсмольной воды — кислоты и фенолы, поэтому их изучали более подробно.

Кислотную часть надсмольной воды выделяли по разработанной ранее методике [3]. Индивидуальный состав кислот изучали методом газо-жидкостной хроматографии с использованием хроматографа ЛХМ-72 с детектором по теплопроводности. Анализ проводили на колонке длиной 3 м с внутренним диаметром 4 мм. В качестве твердого носителя использовали целит 545 зернением 50—60 меш, на который наносили диоктилсебацат (в количестве 20%) с 10% себаценовой кислоты. Разделение проводили в изотермическом режиме при 160°C. Газ-носитель гелий, скорость его 45 мл/мин. Качественный состав устанавливали методом «меток». Ранее [3] этим методом была показана достоверность отнесения пиков к определенным веществам.

Количественное содержание кислот в смеси, рассчитанное методом внутренней нормализации, приведено в табл. 3.

Таблица 3

Кислота	Содержание в суммарных кислотах, %	
	1 стадия, $t = 280^{\circ}\text{C}$	2 стадия, $t = 500^{\circ}\text{C}$
Муравьиная	12,24	2,98
Уксусная	72,88	68,03
Пропионовая	7,57	12,53
Акриловая	1,63	4,58
Изомасляная	0,83	3,90
Масляная	0,83	2,51
Метакриловая	0,52	2,10
Изовалериановая	0,89	1,66
$\alpha$ -кетоновая	0,46	0,93
Валериановая	0,48	0,31
Капроновая	1,01	0,21
Энантовая	0,66	0,26

В надсмольной воде были обнаружены только алифатические кислоты. Из данных табл. 3 видно, что качественный состав кислот не зависит от температуры пиролиза. Было идентифицировано и количественно определено 12 кислот. Содержание муравьиной и уксусной кислот в первой стадии процесса, больше, чем во второй. Причина в том, что при  $280^{\circ}\text{C}$  кислоты в меньшей степени подвержены разложению, чем при  $500^{\circ}\text{C}$ . По этой же причине снижается содержание валериановой, капроновой и энантовой кислот в воде во второй стадии процесса. Основные компоненты суммарных кислот — муравьиная, уксусная и пропионовая кислоты, на долю которых приходится 80—90%. Это указывает на возможность выделения дефицитных пропионовой и особенно уксусной кислоты из надсмольной воды.

Состав элюируемых фенолов исследовали также методом газожидкостной хроматографии на приборе ЛХМ-72 с детектором по теплопроводности и программируемым нагревом колонки. Неподвижной жидкой фазой служил алиезон М, нанесенный в количестве 20% на хромсорб W зернением 60—80 меш. В качестве газоносителя использовали гелий, скорость его 60 мл/мин. Анализ проводили на колонке из нержавеющей стали длиной 2 м с внутренним диаметром 4 мм. Температура колонки менялась от 150 до  $250^{\circ}\text{C}$  со скоростью  $1,5^{\circ}/\text{мин}$ .

Идентификацию фенолов осуществляли методом «меток». Ранее этот метод апробировали на фенолах, извлекаемых из отстойной смолы, образующейся при пиролизе коры лиственницы сибирской [9]. Достоверность результатов хроматографического определения подтверждалась различными физико-химическими и химическими методами (масс-спектроскопией, инфракрасной спектроскопией и получением арилгликолевых кислот).

Индивидуальный состав фенолов представлен в табл. 4. В фенолах предпиролиза количественно определено 17 компонентов, в фенолах пиролиза 15. Они состоят из одно- и двухатомных фенолов с небольшими по размерам алкильными заместителями. В первой стадии фенолы содержат 2,5-диметилрезорцин и значительное количество (10,72%)  $\alpha$ -нафтола; во второй стадии процесса эти вещества не обнаружены. По-видимому, высокая температура способствует образованию простых фенолов из более сложных. Большое содержание фенола и пирокатехина определяет высокую реакционную способность суммарных фенолов, что позволяет рекомендовать их в качестве антиоксиданта.

Физико-химические характеристики надсмольной воды, а также состав кислот и фенолов показывают, что полученную при двухстадийном пиролизе надсмольную воду можно перерабатывать существующими в промышленности способами, извлекая из нее наиболее ценные

Таблица 4

Компоненты	Содержание компонентов, в суммарных фенолах, %	
	1 стадия, $t=280^{\circ}\text{C}$	2 стадия, $t=500^{\circ}\text{C}$
Фенол	10,26	31,82
о-крезол	4,88	6,76
м+п-крезолы	6,95	9,01
Гваякол	19,01	9,37
2,6-ксиленол	3,65	4,18
2,5-ксиленол	1,58	2,79
2,3-ксиленол	1,08	1,62
Пирокатехин	26,81	14,87
2,4,6-триметилфенол	5,46	1,65
2,4,5-триметилфенол	0,42	2,07
Резорцин	1,57	9,81
3,4,5-триметилфенол	0,17	0,88
2-метилрезорцин	2,40	1,01
Гидрохинон	4,21	4,16
2,5-диметилрезорцин	0,83	—
$\alpha$ -нафтол	10,72	—

компоненты: кислоты и фенолы. Компоненты, оставшиеся в воде после переработки, предлагают сжигать по методу Ашинского завода.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Козлов В. Н., Нимвицкий А. А. Технология пирогенетической переработки древесины. Гослесбумиздат, 1954, с. 142—144. [2]. Левин Э. Д., Малков Г. А. Физика, химия и химическая технология.—Труды СТИ, сб. XXXII, 1963, с. 94—110. [3]. Левина Л. М. Кандидатская диссертация. Красноярск, 1973. [4]. Николаева Г. В., Левин Э. Д. Лиственница.—Межвузовский сборник научных трудов. Красноярск, 1973, № 4, с. 190—195. [5]. Славянский А. К. Новые методы пиролиза древесины. «Лесная промышленность», 1965, с. 10—13, 81—85. [6]. Славянский А. К., Медников Ф. А. Технология лесохимических производств. М., «Лесная промышленность», 1970, с. 36—40, 53, 54. [7]. Сумароков В. П., Володуцкая З. М., Высотская В. А., Клиньских Е. В. Методы анализа продуктов пирогенетической переработки древесины. Гослесбумиздат, 1960, с. 28—42. [8]. Твердохлебова В. Н., Левин Э. Д. Лиственница.—Межвузовский сборник научных трудов. Красноярск, т. V, 1974, с. 145—151. [9]. Чупрова Н. А. Кандидатская диссертация. Красноярск, 1967.

Поступила 28 января 1975 г.

УДК 547.992.3

### КАТАЛИТИЧЕСКИЙ КРЕКИНГ СУММАРНЫХ МАСЕЛ ОТСТОЙНОЙ СМОЛЫ ОТ ПИРОЛИЗА ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

**В. А. ШИШКИН**, Ю. Л. ЮРЬЕВ

Архангельский лесотехнический институт, СевНИИП

При температуре  $500^{\circ}\text{C}$  и остаточном давлении 30 мм рт. ст. получен катализат с 80%-ным выходом, содержащий 14,7% условного пирокатехина. Уменьшение остаточного давления от 100 до 30 мм рт. ст. снижает пеко- и газообразование в 1,4—2,4 раза.

Гидролизный лигнин как промышленное сырье для пиролиза представляет значительный интерес. Это объясняется, прежде всего, его

дешевизной, что позволит получать древесный уголь с меньшей себестоимостью [4]. Следует ожидать, что и себестоимость отстойной смолы от пиролиза гидролизного лигнина будет ниже.

В настоящее время разработан и внедряется в производство способ непрерывной разгонки отстойной смолы в трубчатых печах [1], [3], обеспечивающий повышенный выход масел (до 70% от безводной смолы по сравнению с 30—35% при периодической разгонке в кубах). Изучается пиролиз отстойной смолы как процесс, позволяющий повысить качество получаемых из нее продуктов. В частности, рассмотрен пиролиз смолы по схеме, включающей две последовательно соединенные трубчатые печи [2].

В предыдущих работах [6], [7] исследовали каталитический крекинг древесносмоляных масел. В качестве катализатора использовали ортофосфорную кислоту в количестве 14,5%, нанесенную на силикагель. Известно, что ортофосфорная кислота способствует гидролизу имеющихся в смоле и маслах метоксильных групп, что позволяет получать ценные для органического синтеза многоатомные фенолы [6].

В настоящей работе проведено исследование каталитического крекинга суммарных масел, полученных при разгонке смолы от пиролиза гидролизного лигнина. Полученную при пиролизе лигнина Архангельского гидролизного завода отстойную («лигниновую») смолу разгоняли непрерывным способом на суммарные масла и пек при температуре 235—240°C и остаточном давлении 55—60 мм рт. ст. Выход масел в пересчете на безводную смолу составил 65%.

Характеристика смолы и масел приведена в табл. 1. Групповой состав «лигниновой» смолы и полученных из нее масел примерно одинаков.

Таблица 1

Анализируемый образец	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность, %	Содержание, % абс. сухого вещества		
			кислот	нейтральных веществ	фенолов
„Лигниновая“ смола	1150	22	7,0	29,1	48,0]
Суммарные масла	1130	15	6,2	30,7	47,5

Опыты по каталитическому крекингу полученных суммарных масел проводили на непрерывно действующей установке проточного типа [7] при температурах 450, 500 и 550°C. На каждом температурном уровне остаточное давление варьировали на двух уровнях — 100 и 30 мм рт. ст. В реактор — кварцевую трубку внутренним диаметром 18 мм и длиной 1000 мм — загружали 100 мл катализатора, установку проверяли на герметичность, разогревали до заданной температуры и выдерживали при выбранном давлении в течение часа. Масла подавали из бюретки непрерывно по каплям в змеевик-испаритель, обогреваемый баней из сплава Вуда; температуру в бане поддерживали в пределах 240—250°C. Пары масел дополнительно пропускали через подогреватель, где температура была на 10—15°C выше температуры бани.

Катализат собирали последовательно в три приемника, причем в первый — начальную фракцию вплоть до выхода на установившийся режим и конечную фракцию после отбора второй и третьей фракций. При этом фиксировали продолжительность всего опыта и время отбора каждой фракции, что позволяло рассчитать длительность контакта и объемную скорость процесса. Выход жидких продуктов определяли весовым методом, катализат (вторая и третья фракции) анализировали на содержание ОСН<sub>3</sub>-групп (по Фибоку—Шваппаху), условного пирокатехина (по одной из методик [5]), нейтральных веществ, фенолов и кислот (по общепринятым методикам). Содержание ОСН<sub>3</sub>-групп определяли также в фенолах и нейтральных веществах, выделенных при групповом анализе, условный пирокатехин — в фенолах. По наличию ОСН<sub>3</sub>-групп рассчитывали количество метоксифенолов, а по разности между

содержанием фенолов и содержанием метоксифенолов + условного пирокатехина находили группу соединений, условно названных «прочими фенолами».

Составы полученных катализаторов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Температура крекинга, °С	ОСН <sub>3</sub> -группы	Метокси-фенолы	Условный пирокатехин	Прочие фенолы	Сумма фенолов	Нейтральные вещества	Кислоты
Исходные масла							
—	7,6	35,0	7,3	5,2	47,5	30,7	6,2
Катализат							
450	5,6	25,8	7,5	26,0	59,3	33,2	4,4
	4,7	21,7	11,1	28,7	61,5	30,4	3,1
500	4,4	20,3	11,3	29,1	60,7	34,0	4,3
	4,1	18,9	14,7	26,9	60,5	31,6	5,0
550	3,6	16,7	12,7	24,9	54,3	38,1	5,2
	3,1	14,3	14,1	20,6	49,0	42,0	8,1

Примечание. В числителе данные при остаточном давлении 100 мм рт. ст.; в знаменателе — при давлении 30 мм рт. ст.

Полученный при остаточном давлении 100 мм рт. ст. и температуре 550°С катализат содержал условного пирокатехина в 1,74 раза больше, чем исходные масла; количество ОСН<sub>3</sub>-групп уменьшилось в 2,11 раза. Понижение давления до 30 мм рт. ст. привело к увеличению содержания условного пирокатехина в 1,93 раза по сравнению с исходными маслами при снижении содержания ОСН<sub>3</sub>-групп в 2,45 раза, то есть увеличение вакуума позволило получить более ценный катализат.

Данные, характеризующие выход катализата и отдельных компонентов в зависимости от остаточного давления и температуры в реакционной зоне, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Температура крекинга, °С	Выход, % от безводных масел						
	катализата	метокси-фенолов	условного пирокатехина	прочих фенолов	суммы фенолов	нейтральных фенолов	пека + газов + потеря
450	70,6	18,4	—	18,1	41,8	23,4	29,4
	87,7	19,0	9,7	25,2	53,9	26,6	12,3
500	69,8	14,2	7,9	20,3	42,4	23,7	30,2
	80,1	15,1	11,8	21,6	48,4	25,3	19,9
550	63,3	10,6	8,1	15,7	34,4	24,1	36,7
	73,7	10,5	10,4	15,2	36,1	30,9	26,3

Примечание то же, что и к табл. 2.

Во всех опытах понижение давления способствовало увеличению выхода условного пирокатехина, а также суммарного катализата. При давлении 100 мм рт. ст. наибольший выход условного пирокатехина наблюдается при температуре 550°С, а при давлении 30 мм рт. ст. опти-

мальная температура 500°C. Следовательно, характер влияния температуры на процесс крекинга находится в зависимости от остаточного давления в зоне реактора. Снижение давления до 30 мм рт. ст. приводит к образованию максимума выхода условного пирокатехина.

С увеличением температуры крекинга от 450 до 550°C уменьшается соотношение суммы фенолов и нейтральных веществ. Так, при давлении 30 мм рт. ст. с увеличением температуры крекинга от 450 до 550°C это соотношение уменьшилось от 2,02 до 1,17, что свидетельствует о существенной зависимости состава катализата от температуры, а также подтверждает существующие представления об образовании нейтральных соединений нейтрального характера.

Таким образом, при температуре 500°C и остаточном давлении 30 мм рт. ст. получен катализат с 80%-ным выходом, содержащий 14,7% условного пирокатехина. Выяснено, что уменьшение остаточного давления от 100 до 30 мм рт. ст. снижает пеко- и газообразование в 1,4—2,4 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Киприанов А. И. Процесс разгонки древесной смолы в трубчатых печах. М., ВНИПИЭИЛеспром, 1970. [2]. Киприанов А. И., Кравченко М. И., Ломакина Г. П.—ИВУЗ, «Лесной журнал», 1972, № 4. [3]. Кавченко М. И., Киприанов А. И., Коротов С. Я.—Научные труды ЛТА, № 135, вып. II, 1970. [4]. Мосягин В. И.—«Гидролизная и лесохимическая промышленность», 1969, № 5. [5]. Прокшин Г. Ф.—ИВУЗ, «Лесной журнал», 1964, № 2. [6]. Шишкин В. А. Исследование парофазного гидролиза гваякола и лесохимических фенолов на силикагеле, пропитанном ортофосфорной кислотой. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1968. [7]. Шишкин В. А., Лунина Е. С.—ИВУЗ, «Лесной журнал», 1972, № 6.

Поступила 30 апреля 1974 г.

УДК 634.0.813

### ИЗВЛЕЧЕНИЕ КАНИФОЛИ ИЗ ОСМОЛЬНОЙ ЩЕПЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕХАНИЧЕСКОГО ОТЖИМА РАСТВОРИТЕЛЯ

А. Е. СОСНИН, Л. А. МАЛЮТИНА

Архангельский лесотехнический институт

Рассмотрена принципиальная технологическая схема извлечения канифоли с использованием многократного механического отжима мисцеллы, изучены различные условия экстракции, приведены результаты определения качественных показателей получаемой канифоли.

Существенный недостаток современной технологии канифольно-экстракционного производства — сравнительно низкая интенсивность стадии извлечения смолистых веществ из осмольной щепы. Оптимальный коэффициент извлечения канифоли получают только после длительной (6—8 ч) обработки щепы в условиях интенсивного нагревания и испарения больших количеств растворителя (бензина).

Нами дополнительно изучен ранее предложенный метод экстракции, в котором используют осмольную щепу обычного измельчения; интенсификация процесса достигается за счет отжима растворителя (мисцеллы) из капилляров древесины [1].

Проведение опыта по методу, основанному на указанном принципе, технически и аппаратурно может быть оформлено по-разному. Напри-

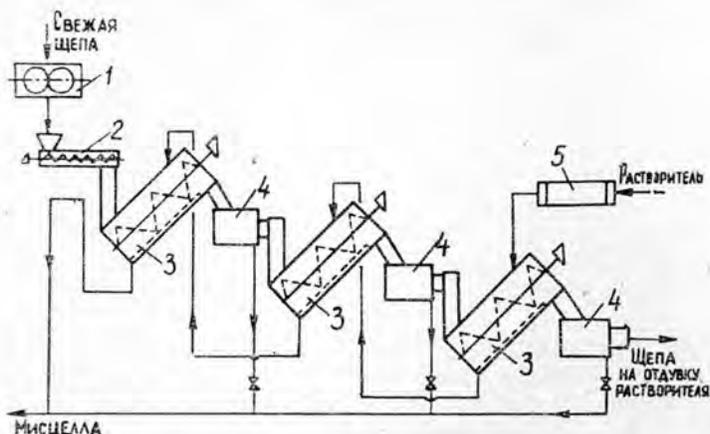


Рис. 1.

1 — валковая дробилка; 2 — питатель; 3 — аппарат для настаивания щепы; 4 — прессовое устройство; 5 — подогреватель.

мер, стадию отжима растворителя из проэкстрагированной щепы можно рассматривать как заключительную операцию процесса экстракции в существующих экстракторах непрерывного действия. Это способствует повышению коэффициента извлечения канифоли, а также сокращению расхода перегретого пара на отдувку растворителя. Можно разработать и такой способ экстракции, в котором механический отжим мисцеллы осуществляется многократно.

На рис. 1 показана принципиальная технологическая схема процесса, состоящая из нескольких (3—5) одинаковых элементов, соединенных последовательно. Мисцеллу отбирают из головной части экстракционной установки, в которую поступает свежая щепка, предварительно отработанная на валковой дробилке. К слитой мисцелле присоединяют также растворы, полученные при отжиме растворителя из щепы в прессовых устройствах. Процесс экстракции может идти при различной температуре.

Учитывая принципиальную возможность технического осуществления рассматриваемой схемы, авторы статьи провели исследование по частичному моделированию предлагаемого процесса с целью определения необходимых условий и длительности отдельных операций, а также концентраций получаемых растворов смолистых и качества выделяемой канифоли.

Для опытов брали три образца свежей осмольной щепы, предварительно освобожденной от крупных кусков и мелочи. Подготовленные пробы анализировали на влажность, содержание канифоли и летучих, а затем обрабатывали на гладковалковой дробилке [2]. Основные показатели качества щепы показаны в табл. 1.

Извлечение канифоли проводили в различных условиях, но по одной и той же методике. В первых двух опытах экстрагировали пробы щепы различной влажности, но с почти одинаковым содержанием канифоли. Навеску щепы заливали определенным количеством бензина марки БР-1 (125 мл на 50 г щепы) и настаивали в колбе с широким горлом и обратным холодильником при температуре около 60°C в течение 10 мин. Затем избыток растворителя сливали в другую колбу, которую также помещали в термостат, щепу переносили в прессформу

Таблица 1

№ опыта	Показатели свежей щепы			Концентрация мисцеллы по канифоли, г/л, при количестве							Средняя концентрация мисцеллы, г/л	Коэффициент извлечения канифоли, %	Относительная доля канифоли, %, извлеченной путем	
	Влажность, %	Количество канифоли, % к абс. сухой обессмоленной древесине	Содержание окисленных, % к канифоли	настаиваний		отжимов							настаивания	отжима
				1-3	4-5	1	2	3	4	5				
1	42,0	23,1	13,6	29,3	3,0	55,5	46,7	41,7	8,9	9,1	28,5	89,2	49,3	50,7
2	14,5	22,4	15,7	36,9	3,8	53,7	47,6	45,3	10,0	8,0	32,4	91,5	60,6	39,4
3	35,0	23,1	13,6	25,3	—	41,0	36,1	32,0	—	—	29,6	79,0	51,0	49,0
4	14,5	22,4	15,7	32,4	—	42,2	39,8	37,5	—	—	33,8	82,4	66,8	33,2
5	42,0	23,1	13,6	24,1	4,6	38,7	36,2	37,9	15,3	11,7	24,3	80,8	45,3	54,7

Таблица 2

№ опыта	Показатели извлеченной канифоли					Показатели отработанной щепы				
	Цвет по шкале эталонов	Температура размягчения, °С	Кислотное число, мгКОН/г	Содержание неомыляемых, %	Количество окисленных веществ, % к канифоли,		Содержание канифоли, % к абс. сухой обессмоленной древесине	Количество окисленных веществ, % к канифоли,		
					не растворимых в горячем бензине	растворимых в горячем бензине		не растворимых в горячем бензине	растворимых в горячем бензине	
1	J	53,1	148,4	9,0	0,19	0,93	2,4	41,9	12,5	
2	H	46,8	147,4	10,2	0,14	1,61	1,8	65,6	6,2	
3	H	53,7	149,0	8,9	0,34	1,68	4,2	27,2	8,7	
4	H	47,0	148,2	10,0	0,03	1,22	3,7	36,4	8,9	
5	D	50,8	145,0	9,4	2,58	2,12	4,6	—	—	

и отжимали впитанную мисцеллу при удельном давлении 90 кгс/см<sup>2</sup>. Прессованную щепу снова помещали в колбу для настаивания, заливали слитым ранее растворителем и повторяли все дальнейшие операции в прежней последовательности. Четвертое и пятое настаивания проводили со свежей порцией растворителя, остаток которого затем использовали в первой операции следующего цикла обработки новой порции щепы. Таким образом достигали определенного противотока движения растворителя в отдельных операциях. В результате получали семь различных растворов. Два из них представляли слитую после настаивания мисцеллу, которая содержала всю канифоль, извлеченную путем настаивания, а пять других растворов характеризовали отжатую мисцеллу. Измеряли объем и концентрацию каждого раствора, а затем растворы соединяли.

В двух следующих опытах с теми же пробами щепы, одна из которых была несколько подсушена, проводили только первые три операции настаивания — отжим. Продолжительность одной операции настаивания, которую осуществляли также при 60°C, была увеличена до 20 мин. Пятый опыт проводили, как и первые два, но настаивали при температуре 20°C, в бензине с добавкой 3% бутанола. Длительность одной операции настаивания 5 мин. Основные показатели всех опытов представлены в табл. 2.

В каждом опыте перерабатывали 450—600 г щепы и получали 1470—1910 мл мисцеллы, которую упаривали на водяной бане под вакуумом, а затем уваривали в одинаковых условиях. Полученные образцы канифоли анализировали. В отработанной щепе определяли содержание канифоли.

Характеристика полученных образцов канифоли дана в табл. 2. Сравнивая результаты первых двух опытов, видим, что основной показатель эффективности исследованного метода — коэффициент извлечения канифоли — во втором опыте при влажности щепы 14,5% несколько выше. Средняя концентрация мисцеллы во втором опыте также больше.

В двух последующих опытах с почти такой же общей продолжительностью настаивания, как и в первых двух, из щепы с более низкой влажностью извлекалось относительно больше канифоли. Концентрация отжатой и слитой мисцелл в конце опытов почти сравнялась, поэтому дальнейшее извлечение канифоли стало практически невозможным. Противоток растворителя и щепы в этих опытах отсутствовал.

Результаты первых четырех опытов позволяют сделать вывод, что доля канифоли, извлеченной за счет отжима мисцеллы, уменьшается при снижении влажности щепы. Это можно объяснить лучшими условиями для извлечения канифоли в случае настаивания сухой щепы.

При использовании щепы с влажностью 35 и 42% количество канифоли, содержащейся в отжатых растворах, составляло около 50% от всей извлеченной за опыт. Это видно из пятого опыта в случае экстракции канифоли бензином с добавкой бутанола. При экстракции одним бензином в аналогичных условиях извлекалось не более 70% канифоли.

Из данных табл. 2 видно, что качественные показатели извлеченной канифоли в первых четырех опытах зависят не от режима извлечения, а от исходной щепы. Так, канифоль, полученная из щепы Медвежьегорского КЭЗа (опыты 2 и 4), характеризуется низкой температурой размягчения (около 47°C); канифоль, полученная из щепы Вахтанговского КЭЗа, имела более высокую температуру размягчения, близкую к требованиям ГОСТа. Содержание окисленных в канифоли, извлеченной одним бензином, значительно меньше, чем в за-

водских образцах обычной экстракционной канифоли или в канифоли, извлеченной дефлегмационным методом в лаборатории [3]. Количество окисленных нерастворимых в бензине при нагревании 0,03—0,34 %

В целом качественные показатели канифоли, извлеченной бензином в условиях наших опытов, выше, чем у обычной канифоли, что объясняется мягкими температурными условиями и небольшой длительностью процесса экстракции.

Канифоль, извлеченная в пятом опыте, имела темный цвет (марка D), пониженные кислотное число и температуру размягчения; содержание окисленных в 2—4 раза больше, чем в других образцах канифоли. Следовательно, добавка бутанола к бензину увеличивает не только скорость экстракции, но и количество окисленных веществ в полученной канифоли.

На основании результатов проведенного исследования можно заключить, что практическое осуществление предложенной технологической схемы извлечения канифоли с применением отжима растворителя после подбора соответствующего промышленного оборудования позволит в несколько раз сократить продолжительность экстракционной обработки осмольной щепы при значительном снижении расхода глухого и острого пара. Качество канифоли, полученной по предлагаемому методу, выше, чем обычной экстракционной канифоли.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Соснин А. Е., Загуляева М. М. К вопросу о повышении скорости извлечения смолистых веществ при экстрагировании осмольной щепы бензином. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1966, № 5. [2]. Соснин А. Е. Использование гладковалковых дробилок для дополнительной обработки осмольной щепы перед экстракцией. — «Лесохимия и подсочка», Реферативная информация, М., ВНИПИЭИлеспром, 1970, № 5. [3]. Соснин А. Е., Малютина Л. А., Загуляева М. М. Состав и свойства экстракционной канифоли, полученной в различных условиях. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1973, № 5.

Поступила 28 июня 1974 г.

УДК 676.2.056.3

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ПОЛОТНА МЕЖДУ ДВУМЯ СЕТКАМИ

В. П. ЧЕРНОКРЫЛОВ, И. Д. КУГУШЕВ, О. А. ТЕРЕНТЬЕВ

Ленинградский технологический институт ЦБП

Представлена схема действующей экспериментальной установки, изложены результаты исследования двухсеточного формования первого этапа.

Формование и обезвоживание бумажного полотна между двумя сетками обеспечивает интенсификацию процессов и улучшает качество вырабатываемой продукции.

В нашей работе [5] была предложена схема формирующего устройства и на ее основе создана экспериментальная лабораторная установка (рис. 1).

Методика экспериментальных исследований на первом этапе заключалась в нахождении оптимальных соотношений скорости напуска

массы к скорости сетки исходя из механической прочности бумажного полотна в продольном и поперечном направлениях при разных концентрациях исследуемой массы.

Механическая прочность — одно из важных свойств большинства видов бумаги [2], [4]. Соотношение прочности бумаги в различных направлениях зависит, в первую очередь, от расположения в ней волокон. Основное влияние на качество бумаги оказывают интенсивность процесса обезвоживания и формования, начальная концентрация и соотношение между скоростью выхода массы на сетку и скоростью сетки [3].

Прочность бумаги определяли по формуле

$$P = SF + \alpha \bar{P},$$

где  $S$  — удельные силы связи между соприкасающимися волокнами, кгс/мм<sup>2</sup>;

$F$  — поверхность соприкосновения волокон, мм<sup>2</sup>;

$\alpha$  — относительное количество волокон, подвергающихся разрыву при растяжении бумаги;

$\bar{P}$  — сопротивление разрыву отдельных волокон, кгс.

В одной из работ [1] была выявлена зависимость величины  $\alpha$  от интенсификации процесса, позволившая связать процесс формования и обезвоживания с прочностью полотна.

Нами проведены исследования на массе типографской бумаги № 3 при различных концентрациях подаваемой массы, соотношениях скорости напуска массы к скорости сетки  $V_m/V_c$ , при наличии вакуума только в пересасывающем ящике (рис. 1) и при разных значениях веса 1 м<sup>2</sup> бумажного полотна.

На рис. 2 представлена зависимость отношения прочности бумаги в продольном направлении к ее прочности в поперечном направлении  $a/b$  от отношения скорости напуска массы к скорости сетки  $V_m/V_c$ . Эксперимент проводили при различных концентрациях и разных соотношениях скорости напуска массы и сетки. Предварительно производили тарировку напорного ящика объемным способом. Высота открытия напускной щели  $h = 8$  мм, скорость сетки  $V_c = 20$  м/мин. Каждой скорости напуска массы соответствует свой статический напор  $H_{ст}$ , высота которого менялась от 26 до 100 мм.

Анализ кривых (рис. 2) показывает, что с изменением скорости напуска массы  $V_m$  меняется соотношение прочностных показателей бумажного полотна в продольном и поперечном направлениях. Для каждой концентрации, при соответствующем соотношении  $V_m/V_c$  имеет место экстремум, при котором отношение  $a/b$  принимает минимальные значения. На действующей экспериментальной установке отношение  $a/b = 1,3 \div 1,5$  при оптимальном соотношении  $V_m/V_c = 1,04 \div 1,3$ . Повышение начальной концентрации увеличивает силы связей в волокнистой структуре, поэтому возрастает равнопрочность показателей в поперечном и продольном направлениях, то есть отношение  $a/b$  уменьшается. Отношение скорости напуска массы к скорости сетки  $V_m/V_c$  с повышением концентрации также уменьшается. Например, для концентрации  $C = 0,9\%$  отношение  $a/b = 1,3$ , а  $V_m/V_c = 1,04$ ; для  $C = 0,6\%$  отношение  $a/b = 1,38$ , а  $V_m/V_c = 1,3$ .

Из рис. 3 видно, что с увеличением начальной концентрации увеличивается концентрация промываемых волокон  $C_m$  через верхнюю сетку от 1,1 г/л при  $C = 0,3\%$  до 1,87 г/л при  $C = 0,9\%$  (кривая 1). На этом же графике показана зависимость отношения прочности полотна

в поперечном направлении к прочности полотна в продольном направлении  $b/a$  от начальной концентрации (кривая 2). В массе высокой концентрации, как уже указывалось, волокна имеют достаточно прочную структуру. В массе низкой концентрации волокна не имеют связей между собой и структура полотна образуется только в момент процесса формования и обезвоживания. При этом большую роль играет ориентация волокон, которая, в свою очередь, зависит от соотношения  $V_m/V_c$ .

График изменения зольности типографской бумаги № 3 от начальной концентрации и веса  $1 \text{ м}^2$  показывает (рис. 4), что уменьшение начальной концентрации снижает зольность бумаги при равных значениях вакуума.

На рис. 5 приведена кривая зависимости вакуума от веса  $1 \text{ м}^2$  бумажного полотна. С увеличением веса от 30 до  $70 \text{ г/м}^2$  вакуум возрастает от 1000 мм вод. ст. до 2400 мм вод. ст. за счет уменьшения количества просасываемого воздуха.

### Выводы

1. Соотношение прочностных показателей бумажного полотна в продольном и поперечном направлениях зависит от скорости напуска массы и скорости сетки; для каждой концентрации характерно свое оптимальное значение этого соотношения.

2. С увеличением начальной концентрации возрастают промом волокна. Уменьшение начальной концентрации снижает зольность бумаги.

3. С ростом веса полотна от 30 до  $70 \text{ г/м}^2$  увеличивается вакуум в пересасывающем ящике.

Проведенные исследования позволяют перейти ко второму этапу — изучению влияния основных технологических параметров на продолжительность формования полотна между двумя сетками под вакуумом.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Барановский В. П. Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Л., ЛТИ ЦБП, 1972. [2]. Иванов С. Н. К вопросу о прочности бумаги. — «Бумажная промышленность», 1948, № 6. [3]. Кугушев И. Д. Теория процессов отлива и обезвоживания бумажной массы. «Лесная промышленность», 1971. [4]. Меос А. И., Фляте Д. М. — Материалы Института бумаги, вып. XXXVII, Гослесбумиздат, 1948. [5]. Чернокрылов В. П. Формующее устройство для исследования условий двухсеточного формования бумажного полотна. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974, № 5.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ  
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 62—522

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ДРОВОКОЛЬНОГО СТАНКА  
С УЧЕТОМ УПРУГОСТИ МУФТЫ И ТРУБОПРОВОДОВ

Т. М. ШКИРЯ

Львовский лесотехнический институт

Приведено дифференциальное уравнение движения исполнительного органа гидравлического древокольного станка как динамической системы с тремя степенями свободы.

Приводя массы отдельных узлов, силу давления жидкости и силу сопротивления прессованию к поршню исполнительного механизма, с учетом принятых допущений [4], [5], дифференциальное уравнение движения исполнительного механизма гидравлического древокольного станка как трехмассовой системы можно записать в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \frac{d^2 l_1}{dt^2} + (l_1 - l_2) c_{12} &= P_d; \\ \left( m_2 + F^2 \frac{\gamma}{g} \frac{L_c}{f} \right) \frac{d^2 l_2}{dt^2} + H_1 \frac{dl_2}{dt} + (l_2 - l_1) c_{21} - (l_3 - l_2) c_{23} &= 0; \\ \left( m_3 + F \frac{\gamma}{g} L_n \right) \frac{d^2 l_3}{dt^2} + H_2 \frac{dl_3}{dt} + (l_3 - l_2) c_{23} &= -P_c, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

- где  $m_1$  — приведенная масса якоря двигателя;  
 $m_2$  — приведенная масса ротора насоса;  
 $m_3$  — приведенная масса поршня, штока и упора;  
 $l_1, l_2, l_3$  — координаты ведущей  $m_1$ , ведомой  $m_3$  и промежуточной  $m_2$  масс;  
 $F$  — площадь поршня исполнительного механизма;  
 $\gamma$  — удельный вес рабочей жидкости;  
 $g$  — ускорение силы тяжести;  
 $L_c$  — общая длина соединительных линий;  
 $f$  — площадь поперечного сечения соединительного трубопровода;  
 $L_n$  — расстояние от внутренней стенки крышки цилиндра до рабочей поверхности поршня к моменту соприкосновения лезвия клина с древесиной;  
 $H_1$  — коэффициент вязкого трения лопастей насоса и рабочей жидкости, движущейся в соединительных трубопроводах;  
 $H_2$  — коэффициент вязкого трения поршня о цилиндр и движущейся в нем рабочей жидкости;  
 $P_d$  — сила давления рабочей жидкости на поршень;  
 $P_c$  — сила сопротивления раскалыванию.

Создаваемая электрогидроприводом сила давления рабочей жидкости на поршень [1], [3]

$$P_d = \frac{2\pi F \gamma_0 M_K \omega_0}{q \gamma_0 (\omega_0 - \omega_K)} \left[ 1 - \frac{\omega}{\omega_0} \right], \quad (2)$$

где  $M_k$  — максимальный момент электродвигателя;  
 $\omega_0, \omega_k$  — синхронная и критическая угловые скорости вала двигателя;  
 $\omega$  — текущая скорость ротора электродвигателя;  
 $q$  — рабочий объем насоса;  
 $\eta_{\text{э}}, \eta_0$  — эффективный и объемный КПД насоса.

Приняв в первом периоде возрастание усилия раскалывания пропорционально глубине внедрения клина в древесину  $P_c = \frac{P_{\text{max}}}{l_p} l_3$  [4], используя зависимость (2) и учитывая, что  $\omega = \frac{2\pi F \eta_{\text{э}}}{q \eta_0} \cdot \frac{dl_1}{dt}$ , систему (1) после некоторых преобразований можно записать так:

$$m_1 \frac{d^2 l_1}{dt^2} + \frac{4\pi^2 F^2 \eta_{\text{э}}^2 M_k}{q^2 \eta_0^2 (\omega_0 - \omega_k)} \cdot \frac{dl_1}{dt} + l_1 c_{12} - l_1 c_{23} = \frac{2\pi F \eta_{\text{э}} M_k \omega_0}{q \eta_0 (\omega_0 - \omega_k)}; \quad (3)$$

$$\left( m_2 + F^2 \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{L_c}{f} \right) \frac{d^2 l_2}{dt^2} + H_1 \frac{dl_2}{dt} + l_2 c_{12} - l_1 c_{12} + l_2 c_{23} - l_3 c_{23} = 0; \quad (4)$$

$$\left( m_3 + P \frac{\gamma}{g} L_n \right) \frac{d^2 l_3}{dt^2} + H_2 \frac{dl_3}{dt} - l_2 c_{23} + l_3 c_{23} + \frac{P_{\text{max}}}{l_p} l_3 = 0. \quad (5)$$

Дифференцируя эти уравнения четыре раза, после преобразований получим

$$\frac{d^6 l_1}{dt^6} + a_5 \frac{d^5 l_1}{dt^5} + a_4 \frac{d^4 l_1}{dt^4} + a_3 \frac{d^3 l_1}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 l_1}{dt^2} + a_1 \frac{dl_1}{dt} + a_0 l_1 = b_1; \quad (6)$$

$$\frac{d^6 l_2}{dt^6} + a_5 \frac{d^5 l_2}{dt^5} + a_4 \frac{d^4 l_2}{dt^4} + a_3 \frac{d^3 l_2}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 l_2}{dt^2} + a_1 \frac{dl_2}{dt} + a_0 l_2 = b_2; \quad (7)$$

$$\frac{d^6 l_3}{dt^6} + a_5 \frac{d^5 l_3}{dt^5} + a_4 \frac{d^4 l_3}{dt^4} + a_3 \frac{d^3 l_3}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 l_3}{dt^2} + a_1 \frac{dl_3}{dt} + a_0 l_3 = b_3, \quad (8)$$

где коэффициенты  $a_i$  и  $b_i$  выражаются через параметры системы.

Общее решение полученных неоднородных уравнений состоит из комPLEMENTАРНОЙ функции и частного решения.

Характеристическое уравнение системы

$$x^6 + a_5 x^5 + a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 = 0. \quad (9)$$

С учетом того, что корни комплексные и сопряженные ( $x_{1,2} = \alpha_1 \pm i\beta_1$ ;  $x_{3,4} = \alpha_2 \pm i\beta_2$ ;  $x_{5,6} = \alpha_3 \pm i\beta_3$ ), имеем общее решение дифференциальных уравнений (6), (7), (8)

$$l_1 = A_1 e^{-\alpha_1 t} \sin \beta_1 t + A_2 e^{-\alpha_1 t} \cos \beta_1 t + A_3 e^{-\alpha_2 t} \sin \beta_2 t + A_4 e^{-\alpha_2 t} \cos \beta_2 t + A_5 e^{-\alpha_3 t} \sin \beta_3 t + A_6 e^{-\alpha_3 t} \cos \beta_3 t + l_{1-\text{част}}; \quad (10)$$

$$l_2 = B_1 e^{-\alpha_1 t} \sin \beta_1 t + B_2 e^{-\alpha_1 t} \cos \beta_1 t + B_3 e^{-\alpha_2 t} \sin \beta_2 t + B_4 e^{-\alpha_2 t} \cos \beta_2 t + B_5 e^{-\alpha_3 t} \sin \beta_3 t + B_6 e^{-\alpha_3 t} \cos \beta_3 t + l_{2-\text{част}}; \quad (11)$$

$$l_3 = C_1 e^{-\alpha_1 t} \sin \beta_1 t + C_2 e^{-\alpha_1 t} \cos \beta_1 t + C_3 e^{-\alpha_2 t} \sin \beta_2 t + C_4 e^{-\alpha_2 t} \cos \beta_2 t + C_5 e^{-\alpha_3 t} \sin \beta_3 t + C_6 e^{-\alpha_3 t} \cos \beta_3 t + l_{3-\text{част}}. \quad (12)$$

После дифференцирования равенств (10), (11), (12) уравнение движения динамической системы принимает вид

$$\omega_1 = \frac{2\pi F \eta_{\text{э}}}{q \eta_0} [(\beta_1 A_1 - \alpha_1 A_2) e^{-\alpha_1 t} \cos \beta_1 t - (\alpha_1 A_1 + \beta_1 A_2) e^{-\alpha_1 t} \sin \beta_1 t + (\beta_2 A_3 - \alpha_2 A_4) e^{-\alpha_2 t} \cos \beta_2 t - (\alpha_2 A_3 - \beta_2 A_4) e^{-\alpha_2 t} \sin \beta_2 t + (\beta_3 A_5 - \alpha_3 A_6) e^{-\alpha_3 t} \cos \beta_3 t - (\alpha_3 A_5 + \beta_3 A_6) e^{-\alpha_3 t} \sin \beta_3 t]; \quad (13)$$

$$\omega_2 = \frac{2\pi F \gamma_9}{q \gamma_0} [(\beta_1 B_1 - \alpha_1 B_2) e^{-\alpha_1 t} \cos \beta_1 t - (\alpha_1 \beta_1 + \beta_1 B_2) e^{-\alpha_1 t} \sin \beta_1 t + \\ + (\beta_2 B_3 - \alpha_2 B_4) e^{-\alpha_2 t} \cos \beta_2 t - (\alpha_2 B_3 - \beta_2 B_4) e^{-\alpha_2 t} \sin \beta_2 t + \\ + (\beta_3 B_5 - \alpha_3 B_6) e^{-\alpha_3 t} \cos \beta_3 t - (\alpha_3 B_5 + \beta_3 B_6) e^{-\alpha_3 t} \sin \beta_3 t]; \quad (14)$$

$$\omega_3 = \frac{2\pi F \gamma_9}{q \gamma_0} [(\beta_1 C_1 - \alpha_1 C_2) e^{-\alpha_1 t} \cos \beta_1 t - (\alpha_1 C_1 + \beta_1 C_2) e^{-\alpha_1 t} \sin \beta_1 t + \\ + (\beta_2 C_3 - \alpha_2 C_4) e^{-\alpha_2 t} \cos \beta_2 t - (\alpha_2 C_3 - \beta_2 C_4) e^{-\alpha_2 t} \sin \beta_2 t + \\ + (\beta_3 C_5 - \alpha_3 C_6) e^{-\alpha_3 t} \cos \beta_3 t - (\alpha_3 C_5 + \beta_3 C_6) e^{-\alpha_3 t} \sin \beta_3 t]. \quad (15)$$

Корни уравнений определяли по методу Берстоу [2] на ЭЦВМ «Проминь-2М». Постоянные коэффициенты  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  находили из начальных условий: при  $t = 0$   $(l_1)_0 = 0$ ;  $\left(\frac{dl_1}{dt}\right)_0 = \frac{\omega_0 q \gamma_0 f}{2\pi F^2 \gamma_9}$ , ...;  $(l_2)_0 = 0$ ;  $\left(\frac{dl_2}{dt}\right)_0 = \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi f \gamma_9}$ , ...;  $(l_3)_0 = 0$ ;  $\left(\frac{dl_3}{dt}\right)_0 = \frac{\omega_0 q \gamma_0}{2\pi F \gamma_9}$ , ...

Частное решение выражений (6), (7), (8) находим в виде  $l_{1-\text{част}} = D_1$ ;  $l_{2-\text{част}} = D_2$ ;  $l_{3-\text{част}} = D_3$ . Подставляя эти значения в уравнения (6), (7), (8), получим

$$a_0 D_1 = b_1; \quad a_0 D_2 = b_2; \quad a_0 D_3 = b_3,$$

$$\text{откуда } l_{1-\text{част}} = \frac{b_1}{a_0}; \quad l_{2-\text{част}} = \frac{b_2}{a_0}; \quad l_{3-\text{част}} = \frac{b_3}{a_0}.$$

Для остальных периодов решения аналогичны решению для первого периода по изложенной выше методике с использованием соответствующих зависимостей по мере внедрения клина в древесину [4].

Уравнения (13), (14), (15) связывают все основные параметры гидравлического дровокольного станка ( $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $M_k$ ,  $\omega_0$ ,  $\omega_k$ ,  $F$ ,  $f$ ,  $L_c$ ,  $L_p$ ,  $\gamma$ ,  $q$ ,  $\gamma_9$ ,  $\gamma_0$ ) и свойства обрабатываемого материала ( $P_{\text{max}}$ ,  $L_p$ ).

Решая эти уравнения на ЭЦВМ последовательно по периодам, можно рассчитать максимальное усилие раскалывания, развиваемое станком, выбрать электродвигатель с оптимальной механической характеристикой, проанализировать влияние изменения податливости муфты и магистрального трубопровода на величину создаваемого гидроколуном усилия раскалывания.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бочаров Ю. А., Прокофьев В. Н. Гидропривод кузнечно-прессовых машин. М., «Высшая школа», 1969. [2]. Хемминг Р. В. Численные методы. «Наука», 1968. [3]. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода. М., «Энергия», 1971. [4]. Шкиря Т. М. Приближенный метод расчета динамических нагрузок гидравлического дровокольного станка.— ИВУЗ, «Лесной журнал», 1972, № 1. [5]. Шкиря Т. М. Математическое описание модели гидравлического дровокольного станка.— ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974, № 6.

УДК 62-52

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПНЕВОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ПЛАВНО РЕГУЛИРУЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ

Г. Ф. КОЗОРИЗ

Львовский лесотехнический институт

Разработана методика аналитического определения расхода воздуха при изменении концентрации аэросмеси и скорости вращения вентилятора в зависимости от основных параметров транспортной установки. Справедливость полученных зависимостей подтверждена экспериментом.

Для применения ЭВМ при выборе оптимальных типоразмеров оборудования и режимов работы транспортных установок цеховых универсальных пневмотранспортных систем с плавно регулируемой производительностью, необходимо иметь соответствующую математическую модель. Обоснование ее приведено в данной статье.

Давление, которое должен развивать вентилятор, определяется по формуле

$$H_{\tau} = H_1 + H_2, \quad (1)$$

где  $H_1$  — статическое давление в коллекторе, кгс/м<sup>2</sup>;

$H_2$  — потери давления в транспортной установке, кгс/м<sup>2</sup>.

В пневмотранспортных системах с коллектором в виде сборника

$$H_1 = H_0,$$

где  $H_0$  — минимальное статическое давление.

Если коллектор представляет собой магистральный трубопровод, то  $H_1$  — статическое давление в месте подключения установки к трубопроводу.

Для наиболее выгодного режима работы вентилятора транспортной установки (число оборотов его постоянно) нужно, чтобы потери давления в установке были постоянны.

При изменении производительности рассматриваемых универсальных пневмотранспортных систем меняются количество поступающего в транспортный трубопровод материала и соответственно — концентрация аэросмеси. Последнее компенсируется соответственно расходом воздуха во всех элементах установки.

Потери давления в транспортной установке состоят из потерь в трубопроводе, циклоне и потерь, затраченных на подъем материала в вертикальных трубопроводах,

$$\tilde{H}_2 = \frac{\rho_B V^2}{2} \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) (1 + k_{\mu}) + \xi_{\text{ц}} \frac{\rho_B V_{\text{ц}}^2}{2} + \mu \gamma_B h, \quad (2)$$

где  $V$  — скорость воздуха в транспортном трубопроводе, м/с;  
 $V_{\text{ц}}$  — скорость воздуха во входном патрубке циклона, м/с;  
 $\sum \xi$  — сумма коэффициентов местных сопротивлений;

- $\zeta_{\text{ц}}$  — коэффициент сопротивления циклона;  
 $\lambda$  — коэффициент трения в прямой трубе;  
 $d$  — диаметр трубопровода, м;  
 $k$  — коэффициент, учитывающий наличие материала в воздушном потоке;  
 $\mu$  — весовая концентрация смеси;  
 $\gamma_{\text{в}}$  — объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup>;  
 $h$  — высота подъема транспортируемого материала в вертикальных трубопроводах, м;  
 $\rho_{\text{в}}$  — плотность воздуха, кгс/с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 + \xi_5,$$

- здесь  $\xi_1$  — коэффициент сопротивления входа в трубопровод транспортной установки;  
 $\xi_2$  — коэффициент сопротивления колена (отвода);  
 $n$  — количество колен;  
 $\xi_3$  — коэффициент сопротивления перехода (диффузора) между трубопроводом и входным патрубком вентилятора;  
 $\xi_4$  — коэффициент сопротивления перехода (конфузора) между трубопроводом и выходным патрубком вентилятора;  
 $\xi_5$  — коэффициент сопротивления перехода (диффузора) между трубопроводом и входным патрубком циклона.

Выберем два режима работы системы: один при концентрации аэросмеси в транспортном трубопроводе  $\mu_1$ ; другой при концентрации аэросмеси  $\mu_2$ .

Скорости воздуха в трубопроводе и циклоне соответственно для первого режима в работе  $V_1$  и  $V_{1\text{ц}}$ , для второго —  $V_2$  и  $V_{2\text{ц}}$ . Если увеличение или уменьшение потерь давления при изменении концентрации аэросмеси полностью компенсируется соответствующим расходом воздуха, то написав уравнение (2) для режимов работы 1 и 2 и заменив скорость воздуха выражением  $V = \frac{Q}{F}$ , а его объемный вес равенством  $\gamma_{\text{в}} = \rho_{\text{в}} \cdot g$ , после преобразований получим

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi}{F_{\text{т}}^2} (1 + k\mu_1) + \frac{\xi_{\text{ц}}}{F_{\text{ц}}^2} + 2gh(\mu_1 + \mu_2)}{\frac{\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi}{F_{\text{т}}^2} (1 + k\mu_2) + \frac{\xi_{\text{ц}}}{F_{\text{ц}}^2}}, \quad (3)$$

где  $F_{\text{т}}$  — площадь сечения транспортного трубопровода, м<sup>2</sup>;  
 $F_{\text{ц}}$  — площадь сечения входного патрубка циклона, м<sup>2</sup>;  
 $g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Если в режиме работы 1 концентрация аэросмеси максимальна  $\mu_{\text{max}}$ , то расход воздуха минимален  $Q_{\text{min}}$ , а в режиме 2 — наоборот. Очевидно,  $Q_2 = Q_{\text{max}}$ , когда  $\mu_2 = 0$ ; тогда уравнение (3) примет вид

$$Q_2 = Q_{\text{min}} \sqrt{\frac{\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi}{F_{\text{т}}^2} (1 + k\mu_{\text{max}}) \frac{\xi_{\text{ц}}}{F_{\text{ц}}^2} + 2gh\mu_{\text{max}}}{\frac{\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi}{F_{\text{т}}^2} + \frac{\xi_{\text{ц}}}{F_{\text{ц}}^2}}. \quad (4)$$

При работе пневмотранспортной установки с максимальной производительностью концентрация аэросмеси в трубопроводе максимальна

$$\mu_{max} = \frac{G_{Mmax}}{Q_{min} \gamma_b} = \frac{Q_{\Sigma} \gamma_b \mu_{cp}}{Q_{min} \gamma_b} = \frac{Q_{\Sigma} \mu_{cp}}{Q_{min}}, \quad (5)$$

где  $Q_{\Sigma}$  — суммарный расход воздуха установкой;  
 $\mu_{cp}$  — средняя расчетная концентрация аэросмеси.

$$\mu_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{\gamma_b \sum_{i=1}^n g_i}, \quad (6)$$

здесь  $G_i$  — количество материала, получаемое на каждом станке, кгс/с;

$g_i$  — расход воздуха приемниками станка, м<sup>3</sup>/с.

Преобразовав уравнение (5), получим

$$Q_{min} = Q_{\Sigma} \frac{\mu_{cp}}{\mu_{max}}. \quad (7)$$

Максимальную концентрацию аэросмеси  $\mu_{max}$  принимаем в пределах 0,2—0,5 [2], минимальную скорость воздуха  $V_{min}$  — в зависимости от вида транспортируемого материала.

Анализируя уравнение (4), мы пришли к заключению, что при концентрации аэросмеси  $\mu_{max} = 0,5$  максимально возможное изменение расхода воздуха лежит в пределах 20%.

Такое изменение расхода воздуха было бы возможно, если бы вентилятор поддерживал постоянное давление в транспортной установке. Изменение расхода воздуха центробежных вентиляторов при постоянной скорости вращения сопровождается изменением развиваемого ими давления. Для большинства центробежных вентиляторов, особенно пылевых, характерно уменьшение (увеличение) развиваемого ими давления при увеличении (уменьшении) производительности.

Компенсация увеличения или уменьшения давления, вызываемого изменением концентрации аэросмеси, происходит за счет соответствующего отклонения расхода воздуха, путем изменения сопротивления транспортной установки (сети) и давления, развиваемого вентилятором. Например, при уменьшении концентрации аэросмеси снижение сопротивления компенсируется увеличением расхода воздуха. Но при возрастании расхода воздуха уменьшается давление, развиваемое вентилятором. Следовательно, для достижения равенства между сопротивлением сети и давлением, развиваемым вентилятором, требуется значительно меньшее увеличение расхода воздуха, чем получается по уравнению (4).

Так как расход воздуха максимален при минимальной концентрации аэросмеси  $\mu_{min} = 0$ , а значит, при минимальном сопротивлении сети, то соответственно преобразовав уравнение (2), получим

$$H_{2min} = Q_{max}^2 \left( \frac{\rho_n}{2} \cdot \frac{\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi}{F_{\tau}^2} + \frac{\rho_n \xi_{II}}{2F_{II}^2} \right).$$

Работа центробежного вентилятора описывается уравнением [1]

$$H = aQ^2 + BnQ + Cn^2,$$

где  $H$  — давление, развиваемое вентилятором;  
 $a, B, C$  — постоянные коэффициенты для каждого типоразмера вентилятора;  
 $Q$  — производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  
 $n$  — скорость вращения вентилятора, об/мин.

В соответствии с уравнением (1)

$$H_2 \min + H_1 = aQ_{max}^2 + QnB + n^2C. \quad (8)$$

Решив равенство (8) относительно  $Q_{max}$ , получим

$$Q_{max} = \frac{-Bn \pm \sqrt{B^2 n^2 - 4 \left( a - \frac{\rho_B}{2} \cdot \frac{\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi}{F_T^2} + \frac{\rho_B \xi_{II}}{2F_T^2} \right) (Cn^2 - H_1)}}{2 \left( a - \frac{\rho_B}{2} \cdot \frac{\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi}{F_T^2} - \frac{\rho_B \xi_{II}}{2F_T^2} \right)}. \quad (9)$$

Фактическая производительность вентилятора, максимальная для данной транспортной установки и определяемая по зависимости (9), всегда меньше, чем найденная по уравнению (4). Поэтому при изменении концентрации аэросмеси расход воздуха в транспортной установке меняется незначительно и в большинстве случаев находится в пределах точности практических расчетов универсальных пневмотранспортных установок. Уравнение (9) для любого режима работы установки имеет вид

$$Q = \frac{-Bn \pm \sqrt{B^2 n^2 - 4 \left[ a - \frac{\rho_B \left( \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right)}{2F_T^2} (1 + k\mu) - \frac{\rho_B \xi_{II}}{2F_{II}^2} \right] (Cn^2 - H_1 - \mu \gamma_B h)}}{2 \left[ a - \frac{\rho_B \left( \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right)}{2F_T^2} (1 + k\mu) - \frac{\rho_B \xi_{II}}{2F_{II}^2} \right]}. \quad (10)$$

Режим работы вентилятора определяется по минимально допустимой производительности  $Q_{min}$ . Потери давления в транспортной установке для данного режима

$$H_{max} = Q_{min}^2 \left[ \frac{\rho_B}{2} \cdot \frac{\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi}{F_T^2} (1 + k\mu_{max}) + \xi_{II} \frac{\rho_B}{2F_{II}^2} \right] + \mu_{max} \gamma_B h.$$

Давление, развиваемое вентилятором, обслуживающим эту установку,

$$H_1 + H_{max} = aQ_{min}^2 + Bn Q_{min} + Cn^2.$$

Сделав соответствующие преобразования, получим

$$n = \frac{-BQ_{min} \pm \sqrt{B^2 Q_{min}^2 - 4C \left\{ Q_{min}^2 \left[ a - \frac{\rho_B}{2} \cdot \frac{\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi}{2F_T^2} (1 + k\mu_{max}) + \frac{\rho_B \xi_{II}}{2F_{II}^2} \right] - H_1 - \mu_{max} \gamma_B h \right\}}}{2C} \quad (11)$$

С помощью уравнений (5) — (11) можно определить основные параметры работы транспортной установки при изменении режимов работы пневмотранспортной системы с плавно регулируемой производительностью.

Для проверки справедливости теоретических положений на установке, изготовленной во Львовском лесотехническом институте, были проведены экспериментальные исследования зависимости производительности (по воздуху) транспортной установки от концентрации аэро-смеси.

Экспериментальная установка представляет собой выполненную в натуральную величину универсальную пневмотранспортную систему с автоматически плавно регулируемой производительностью. Для измерения основных параметров применяли дифференциальный тягомер типа ДТ2 (датчик) и автоматический показывающий самопишущий прибор с дифференциально-трансформаторной индукционной схемой типа ДС1.

В качестве приемников динамического давления использовали комбинированные пневмометрические трубки. Для измерения количества транспортируемого материала разработан весовой дозатор, состоящий из ленточного питателя и измерительной системы; в этой системе в качестве датчика применена индукционная катушка от дифференциального тягомера ДТ, а вторичным прибором является самописец ДС1. Исследования проводили при минимальных статических давлениях в коллекторе  $H_0$ , равных 40 и 50 кгс/м<sup>2</sup>, и концентрациях аэро-смеси, изменяющихся от 0 до 0,2 через каждые 0,05.

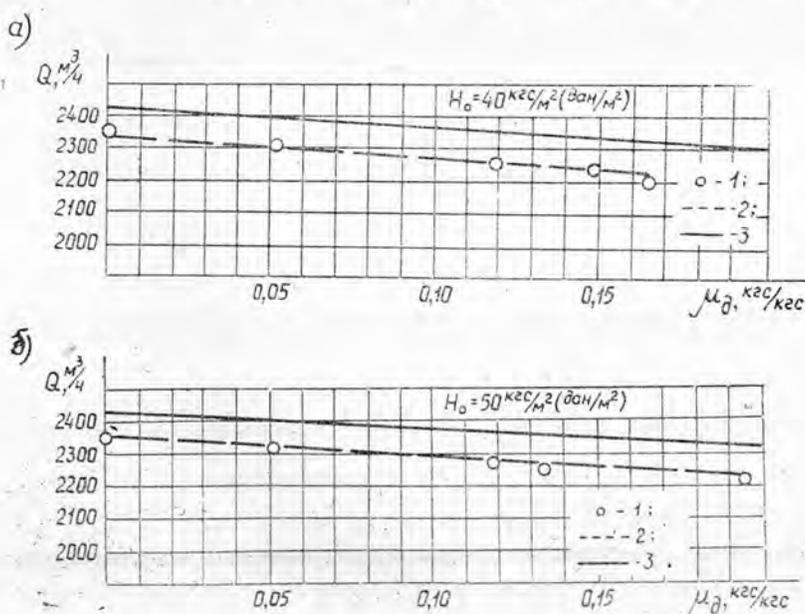


Рис. 1. Зависимость производительности (по воздуху) от концентрации аэро-смеси в транспортной установке.

1 — экспериментальные точки; 2 — экспериментальная прямая; 3 — теоретическая (расчетная) прямая.

Уравнение (10) проверяли, сравнивая расчетные и опытные величины производительности транспортной установки. Эти величины нанесены на графики (рис. 1) и говорят о хорошем совпадении резуль-

татов. Смещение теоретической прямой вверх по отношению к экспериментальным точкам свидетельствует, что указанные коэффициенты (один или несколько) в формуле (10) занижены по сравнению с фактическими. Относительные отклонения расчетных и экспериментальных величин, без учета возможного отклонения выбранных постоянных коэффициентов, от фактических, лежат в пределах точности изготовления пневмотранспортных устройств.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Козориз Г. Ф. Определение производительности, давления и скорости вращения центробежных вентиляторов. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1971, № 3. [2]. Святков С. А., Данилов В. Г. Количество стружки и содержащейся в ней пыли, полученных на различных деревообрабатывающих станках. — В сб.: Пневматический транспорт измельченной древесины. Научные труды, 134, ЛТА, 1969, с. 19—24.

Поступила 12 декабря 1974 г.

УДК 634.0.377.1

### ОДНА ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ПОГРУЗОЧНЫХ РАБОТ НА НИЖНЕМ СКЛАДЕ

Ю. А. СЕДОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Даны конкретные рекомендации и выведены расчетные формулы для составления композиции бревен различной сортности или типоразмера при отгрузке потребителю. В случае необходимости задача может быть запрограммирована на ЭВМ.

Задачи оптимизации в народном хозяйстве приобретают все большее значение. Инженеру часто приходится встречаться с вопросами оптимизации не только в конструкторских разработках, но и в технологических процессах. В частности, задача совершенствования погрузочных операций на нижнем складе (оптимизация производственных операций) включает в себя разработку и внедрение такой организации труда, при которой выполнение необходимых объемов работ в соответствующих производственных условиях потребует минимальных затрат. Так, например, при сортировке бревен по сортности (или по длине, диаметру) возникает задача составления композиций с заранее заданным соотношением для отгрузки потребителю. Поскольку партии леса, доставленные на нижний склад, как правило, разнородны по составу и представляют собой случайную выборку из совокупностей с различным преобладанием отдельных пород или других параметров, операции на сортировке и отгрузке потребителю выполняются интуитивно, то есть основываются исключительно на опыте рабочих. Такой подход не позволяет использовать высокопроизводительные машины и механизмы, внедрение которых предусмотрено Директивами XXIV съезда КПСС по девятой пятилетке.

Разработанная нами задача оптимизации составления композиции с заранее заданными параметрами позволяет проектировщикам перспективных машин получать системы, обеспечивающие сортировку с заранее заданными условиями. Сформулируем эту задачу.

Для отгрузки потребителю требуется составить композицию с заданными параметрами, например, с заданным процентным соотношением пород дерева

$$a'_1 : a'_2 : \dots : a'_n, \quad (1)$$

где  $n$  — количество параметров бревен.

При этом склад располагает  $N$  источниками, например, штабелями или партиями леса из различных пунктов; каждый из источников содержит  $a_{ij}$  бревен (в процентах) с заданными параметрами (длина, диаметр), например, данной породы дерева ( $i$  — порядковый номер компонента;  $j$  — порядковый номер параметра). Существенным допущением является предположение равновероятного распределения упомянутых параметров в каждом компоненте.

Введем следующие обозначения:

$N$  — число компонентов композиции, равное числу источников, то есть имеющихся партий леса;

$\lambda_i$  — искомая доля каждого компонента в композиции;

$Q$  — общая кубатура композиции.

Если задача уже решена, то

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i Q = Q \quad \text{или} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1. \quad (2)$$

Для отыскания недостающего  $(N-1)$ -го уравнения рассмотрим абстрактную математическую модель данной задачи, воспользовавшись языком многомерной геометрии. Каждому компоненту поставим в соответствие точку (вектор)  $n$ -мерного евклидова пространства  $A_i(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ , где координатами служат  $n$  упорядоченных чисел, представляющих собой количество бревен с заданным параметром в  $i$ -том компоненте, причем ни одна из точек не совпадает с точкой заданной композиции, определяемой по уравнению (1), то есть с точкой  $B(a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$ .

В качестве критерия близости составленной композиции к заданной примем норму отклонения точки  $A_i$  от точки  $B$  или «расстояние» между этими точками

$$\| AB \| = r_{AB} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left( a'_j - \frac{\sum \lambda_i a_{ij}}{\sum \lambda_i} \right)^2}.$$

Эта норма отклонения представляет собой функционал, определенный на множестве значений  $\lambda_i \in (0; 1)$ . Каждому набору  $\lambda_i$  отвечает свое соотношение параметров в композиции. Задачу отыскания набора  $\lambda_i$ , минимизирующего функционал  $r_{AB}$ , можно решить методами классического анализа: необходимое условие минимума  $r_{AB}$  — равенство нулю частных производных

$$\frac{\partial r_{AB}}{\partial \lambda_i} = 0.$$

В результате получаем недостающие  $N-1$  уравнения, которые с равенством (2) дают систему

$$\begin{cases} \sum \lambda_i = 1 & \lambda_i \geq 0; \\ \sum_j \left( a'_j \sum_i \lambda_i a_{ij} - \sum_i \lambda_i a_{ij} \right) \left( a_{ij} \sum_i \lambda_i a_{ij} - \sum_j a_{ij} \sum_i \lambda_i a_{ij} \right) = 0; \\ i \in [1; N-1]; \quad j \in [1; n]. \end{cases} \quad (3)$$

Существенное дополнительное условие задачи — неотрицательность всех  $\lambda_i$ .

Рассмотрим числовой пример. Пусть в нашем распоряжении имеются три источника (три партии леса), каждый из которых характеризуется четырьмя параметрами (например, породами дерева), соотношения которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Склад ( $i$ )	Порода ( $j$ )			
	Сосна	Ель	Лиственница	Береза
	1	2	3	4
1	0,30	0,20	0,10	0,40
2	0,40	0,30	0,15	0,15
3	0,25	0,35	0,30	0,10

Пусть заказчику нужно получить: сосны  $103 \text{ м}^3 (Q_1)$ , ели  $91 \text{ м}^3 (Q_2)$ , лиственницы  $56,7 \text{ м}^3 (Q_3)$ , березы  $49,5 \text{ м}^3 (Q_4)$ .

Сколько кубов нужно взять из каждого источника, чтобы получить требуемую композицию?

Нормируя исходные данные, получим

$$a'_1 : a'_2 : a'_3 : a'_4 \approx 0,343 : 0,303 : 0,189 : 0,165.$$

Поскольку соотношение параметров каждого источника тоже нормированное, система (3) примет более простой вид

$$\sum_j (a'_j - \sum_i \lambda_i a_{ij}) (a_{ij} - \sum_i \lambda_i a_{ij}) = 0$$

или

$$\sum_j a'_j a_{ij} - \sum_j \sum_i \lambda_i a_{ij} (a_{ij} + a'_j) + \sum_j (\sum_i \lambda_i a_{ij})^2 = 0; \quad (4)$$

$$j \in [1; n], \quad i \in [1; N-1].$$

В нашем случае  $n = 4$ ;  $N = 3$ .

Чтобы избавиться от двойной индексации, обозначим

$$\lambda_1 = \lambda; \quad \lambda_2 = \mu; \quad \lambda_3 = \nu; \quad a_{1j} = b_j; \quad a_{2j} = c_j; \quad a_{3j} = d_j; \quad a'_j = a_j.$$

Учтя это, получим из уравнения (4)

$$\begin{cases} \lambda \sum_j b_j (b_j - c_j) + \mu \sum_j c_j (b_j - c_j) = \sum_j a_j (b_j - c_j) + \nu \sum_j d_j (c_j - b_j); \\ \lambda \sum_j b_j (c_j - d_j) + \mu \sum_j c_j (c_j - d_j) = \sum_j a_j (c_j - d_j) + \nu \sum_j d_j (d_j - c_j); \\ \lambda + \mu + \nu = 1. \end{cases}$$

После некоторых преобразований и подстановки числовых значений имеем

$$\begin{cases} 0,3\lambda + 0,255\mu + 0,215\nu = 0,2485; \\ 0,255\lambda + 0,295\mu + 0,265\nu = 0,2810; \\ \lambda + \mu + \nu = 1. \end{cases}$$

Система имеет единственное решение, так как  $\Delta \neq 0$ .  
Решение системы:

$$\lambda = \frac{\Delta_\lambda}{\Delta} = 0,12; \quad \mu = \frac{\Delta_\mu}{\Delta} = 0,58;$$

$$\nu = 1 - \lambda - \mu = 0,30.$$

Таким образом, заказчику нужно отгрузить из первого источника

$$\lambda \sum_j Q_j = 0,12 (103 + 91 + 56,7 + 49,5) \approx 36 \text{ м}^3;$$

из второго

$$\mu \sum_j Q_j \approx 0,58 \cdot 300 = 174 \text{ м}^3;$$

из третьего

$$\nu \sum_j Q_j \approx 0,30 \cdot 300 = 90 \text{ м}^3,$$

---

Поступила 18 ноября 1974 г.

#### ПОПРАВКА

В «Лесном журнале» № 1 за 1975 г. клише рис. 1 ошибочно поставлено на стр. 120, а клише рис. 2 на стр. 119. Просим учесть это при чтении статьи.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 636.0.651

АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

А. Д. ЯНУШКО, Б. Н. ЖЕЛИБА, В. П. КОБРИНЕЦ

Белорусский технологический институт

С помощью методов корреляционного и регрессивного анализа определяется сравнительная степень влияния основных экономических показателей деятельности лесхозов на общий уровень интенсивности лесного хозяйства. На основании полученных результатов устанавливаются факторы, обуславливающие уровень интенсивности лесного хозяйства, и выделяются основные направления интенсификации отрасли.

Основа современного развития социалистической экономики — последовательная интенсификация общественного производства. В лесном хозяйстве это особенно касается тех районов страны, где экстенсивные факторы в основном уже исчерпаны и требуются значительные дополнительные затраты, чтобы обеспечить дальнейший рост продуктивности лесов.

В настоящей статье приводится анализ интенсивности лесного хозяйства на примере лесхозов Белорусской ССР. Все показатели интенсивности подразделяются на две группы: а) показатели интенсив-

Таблица 1

Показатели	Условные обозначения	$\sigma$	$K_B$
<b>I. Частные</b>			
<b>1. Интенсивность лесовыращивания</b>			
Сумма расхода операционных средств, р./га	$O_n$	0,2363	23,65
Стоимость основных фондов по бюджетной деятельности, р./га	$\Phi_b$	0,3600	36,00
Число рабочих по бюджетной деятельности, чел./1000 га	$P_b$	0,3655	36,55
Сводный объем лесохозяйственного производства, р./га	$q$	0,2459	24,59
Объем механизированных работ, р./га	$q_M$	0,4214	42,14
Охват лесной площади хозяйственным воздействием, %	$l$	0,4753	47,53
<b>2. Интенсивность лесопользования</b>			
Стоимость основных фондов по хозрасчетной деятельности, р./га	$\Phi_x$	0,4953	49,53
Число рабочих по хозрасчетной деятельности, чел./1000 га	$P_x$	0,3723	37,23
Сумма мобилизации собственных средств, р./га	$M$	0,3217	32,17
Выпуск товарной продукции, р./га	$T$	0,3620	36,20
<b>II. Синтетические</b>			
Интенсивность лесовыращивания	$I^{лв}$	0,2428	24,28
Интенсивность лесопользования	$I^{лп}$	0,2847	28,47
Интенсивность лесного хозяйства	$I^{лх}$	0,2300	23,00

ности лесовыращивания и б) показатели интенсивности лесопользования (табл. 1). Такое деление, по нашему мнению, позволяет не только наиболее полно проанализировать интенсивность обеих сторон лесного хозяйства, но и определить эффективность их интенсификации.

Синтетический показатель уровня интенсивности лесного хозяйства  $I^{лх}$  определяется по формуле

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n},$$

где  $I$  — синтетический показатель уровня интенсивности;

$I_i$  —  $i$ -тый частный показатель деятельности лесхоза;

$n$  — число выбранных частных показателей.

По этой формуле, включая в круг обсчета соответствующие частные показатели (табл. 1), были определены также синтетические показатели интенсивности процесса лесовыращивания  $I^{ав}$  и лесопользования  $I$

Частные показатели предварительно представлены в нормированном виде по отношению к их математическому ожиданию. В таком случае среднее значение каждого показателя по БССР будет тождественно единице.

Основная задача исследования состояла в анализе влияния частных показателей интенсивности лесного хозяйства на синтетические. С этой целью были собраны (методом анкетирования) статистические данные по всем 93 лесхозам БССР. Статистические характеристики частных и полученных на их основе синтетических показателей даны в табл. 1. ( $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение;  $K_v$  — коэффициент вариации).

Все показатели подчиняются закону нормального распределения. Это позволяет для определения взаимосвязей между исследуемыми факторами применить методы корреляционного и регрессионного анализа [1], [2].

Результаты расчетов коэффициентов парной корреляции показателей приведены в виде матрицы в табл. 2. Уровень значимости коэффициентов корреляции для данной выборки (93 опыта) при доверительной вероятности 0,95 составляет 0,2.

Из табл. 2 видно, что в пределах интервалов варьирования все частные показатели имеют существенную положительную связь с синтетическим показателем интенсивности лесного хозяйства  $I^{лх}$ . Это также подтверждается значениями рассчитанных частных коэффициентов корреляции между  $I^{лх}$  и частными показателями (они расположены в графе для  $I^{лх}$  над парными коэффициентами корреляции).

Пользуясь данными табл. 2, можно оценить степень связи (более или менее существенной) между всеми частными показателями. При этом наиболее сильно эта связь выражена между  $P$  и  $T$  ( $r_{P_x, T} = 0,81$ ), а также  $On$  и  $q$  ( $r_{Onq} = 0,77$ ), что вполне логично и подтверждается опытом производственной деятельности лесхозов.

Важно проследить степень тесноты связи между частными и синтетическими показателями. Наиболее тесную связь с  $I$  имеют  $q$  и  $On$  ( $r_{I^{ав}q} = 0,83$ ;  $r_{I^{ав}On} = 0,81$ ), с  $I^{лх} - T$  и  $P_x$  ( $r_{I^{лх}T} = 0,89$ ;  $r_{I^{лх}P_x} = 0,86$ ) и с  $I^{лх} - On$  и  $T$  ( $r_{I^{лх}On} = 0,84$ ;  $r_{I^{лх}T} = 0,77$ ).

Результаты корреляционного анализа позволяют утверждать, что синтетические показатели связаны существенной линейной связью со

Таблица 2

Корреляционная матрица показателей													
	<i>Оп</i>	$\Phi_6$	$P_6$	<i>q</i>	$q_m$	<i>l</i>	$\Phi_x$	$P_x$	<i>M</i>	<i>T</i>	$I^{лв}$	$I^{лп}$	$I^{лх}$
<i>Оп</i>	1	0,68	0,35	0,77	0,44	0,40	0,57	0,57	0,61	0,58	0,81	0,78	0,83
$\Phi_6$		1	0,15	0,48	0,36	0,20	0,58	0,54	0,64	0,64	0,64	0,74	0,84
$P_6$			1	0,51	0,29	0,32	0,49	0,24	0,41	0,14	0,56	0,61	0,93
<i>q</i>				1	0,43	0,53	0,34	0,46	0,65	0,45	0,83	0,61	0,74
$q_m$					1	0,24	0,39	0,28	0,46	0,10	0,67	0,45	0,96
<i>l</i>						1	0,28	0,32	0,32	0,31	0,68	0,39	0,65
$\Phi_x$							1	0,66	0,36	0,70	0,50	0,84	0,73
$P_x$								1	0,45	0,81	0,55	0,86	0,93
<i>M</i>									1	0,51	0,70	0,69	0,77
<i>T</i>										1	0,55	0,89	0,91
$I^{лв}$											1	0,73	0,92
$I^{лп}$												1	0,97
$I^{лх}$													1

всеми частными показателями. Это определяет в дальнейшем при математическом моделировании целесообразность применения уравнений регрессии. В данном случае парные регрессионные зависимости целесообразно применить для выяснения характера связи и установления приближенной количественной зависимости между  $I^{лв}$ ,  $I^{лп}$  и формирующими их частными показателями.

Как показывают данные корреляционной матрицы (табл. 2) и опыт построения эмпирических линий регрессии, аппроксимация парных зависимостей между  $I^{лв}$ ,  $I^{лп}$  и частными показателями полиномами первого и второго порядка вполне достаточна.

При выборе формы связи для парных зависимостей рассматривали различные виды регрессий (линейные и нелинейные). В качестве конечного варианта приняты адекватные уравнения, обладающие минимумом остаточной дисперсии (максимумом F-критерия) с коэффициентами, значимыми по t-критерию при доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы, равном 90. Уравнения для исследуемых зависимостей и F-критерий приведены в табл. 3.

Таблица 3

Исследуемые зависимости	Вид уравнения регрессии	F-критерий
$I^{лв} - Оп$	$y = -0,37 + 1,84x - 0,44x^3$	3,041
$I^{лв} - \Phi_6$	$y = 0,56 + 0,43x$	2,751
$I^{лв} - P_6$	$y = 0,19 + 1,15x - 0,30x^2$	2,624
$I^{лв} - q$	$y = 0,17 + 0,82x$	3,278
$I^{лв} - q_m$	$y = 0,26 + 0,96x - 0,19x^2$	2,870
$I^{лв} - l$	$y = 0,65 + 0,35x$	2,713
$I^{лп} - \Phi_x$	$y = 0,33 + 0,77x - 0,092x^2$	3,506
$I^{лп} - P_x$	$y = 0,55 + 0,23x + 0,20x^2$	3,616
$I^{лп} - M$	$y = 0,37 + 0,62x$	2,615
$I^{лп} - T$	$y = 0,32 + 0,63x + 0,05x^2$	3,491

Таблица 4

Показатели	Предельные значения показателей по разрядам						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Сумма расхода операционных средств, р./га	До 3,33	3,34 — 4,15	4,16 — 5,08	5,09 — 6,48	6,49 — 8,18	8,19 — 11,00	11,01 и более
Стоимость основных фондов по бюджетной деятельности, р./га	—	0,00 — 1,97	1,98 — 2,60	2,61 — 4,15	4,16 — 5,66	5,67 — 7,20	7,21 более
Число рабочих по бюджетной деятельности, чел./1000 га	До 0,41	0,42 — 0,75	0,76 — 1,22	1,23 — 1,81	1,82 — 2,64	2,65 — 6,48	6,49 и более
Сводный объем лесохозяйственного производства, р./га	До 2,18	2,19 — 3,54	3,55 — 4,85	4,86 — 6,16	6,17 — 7,52	7,53 — 8,89	8,90 и более
Объем механизированных работ, р./га	До 0,83	0,84 — 0,98	0,99 — 1,22	1,23 — 1,58	1,59 — 2,20	2,21 — 4,20	4,21 и более
Охват лесной площади хозяйственным воздействием, %	—	0,00 — 2,06	2,07 — 10,47	10,48 — 19,01	19,02 — 27,42	27,43 — 35,81	35,82 и более
Стоимость основных фондов по хозрасчетной деятельности, р./га	До 0,65	0,66 — 1,13	1,14 — 1,74	1,75 — 2,49	2,50 — 3,38	3,39 — 4,38	4,39 и более
Число рабочих по хозяйственной деятельности, чел./1000 га	—	0,00 — 0,40	0,41 — 0,73	0,74 — 1,00	1,01 — 1,22	1,23 — 1,41	1,42 и более
Сумма мобилизации собственных средств, р./га	До 0,47	0,48 — 1,19	1,20 — 1,94	1,95 — 2,66	2,67 — 3,38	3,39 — 5,20	5,21 и более
Выпуск товарной продукции, р./га	До 1,49	1,50 — 3,03	3,04 — 4,47	4,48 — 5,85	5,86 — 7,23	7,24 — 8,52	8,53 и более

По данным табл. 3 построена шкала разрядов интенсивности лесного хозяйства БССР (табл. 4).

Предлагаемая шкала позволяет дифференцировать лесхозы по степени интенсивности производства и проследить за динамикой изменения уровня интенсивности лесного хозяйства БССР. Так, если в 1964 г. по республике насчитывалось 11 лесохозяйственных предприятий I разряда интенсивности, II—46, III—29 и IV—2, то в 1973 г. они распределялись следующим образом: II—1, III—15, IV—50, V—20 и VI—7.

Анализ частных показателей с использованием шкалы показал, что в некоторых лесхозах интенсивность лесопользования значительно превышает интенсивность лесовыращивания, причем последняя нередко находится ниже уровня, среднего по республике, то есть, по сути дела, основная деятельность отодвигается на второй план. Такая тенденция, естественно, может привести к нежелательным последствиям.

Для определения количественного влияния всех частных показателей на уровень интенсивности лесного хозяйства  $I^{лх}$  необходимо прибегнуть к методу множественной регрессии.

Расчитанное уравнение множественной линейной регрессии имеет вид

$$I^{лх} = 0,0096 + 0,1038On + 0,0937\Phi_6 - 0,0983P_6 + 0,0934q + \\ + 0,0980q_m + 0,0993l + 0,1010\Phi_x + 0,1026P_x + 0,1036M + 0,0975T. \quad (1)$$

Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,9995$ . Значимость коэффициентов регрессии проверяли по  $t$ -критерию. Все коэффициенты значимы, причем расчетный  $t_p$ -критерий значительно превышает табличный ( $t_p = 2,0$ ).

Большое значение коэффициентов  $R$  и  $R^2$  для уравнения (1) свидетельствует о наличии тесной линейной связи между синтетическим показателем  $I^{лх}$  и всей совокупностью частных показателей, которые в комплексе объясняют 99,9% всех изменений синтетического показателя.

Поскольку выбор частных показателей логически обоснован, то анализ уравнения (1) позволит определить правильные количественные взаимосвязи между исследуемыми показателями.

Наиболее существенное изменение  $I^{лх}$  вызывает изменение частных показателей:  $On$ ,  $M$ ,  $P_x$  и  $\Phi_x$ .

Сравнительную степень влияния частных показателей на синтетический  $I^{лх}$  можно установить по коэффициентам множественной регрессии уравнения (1). Однако величина коэффициента регрессии изменяется в зависимости от единиц измерения, в которых выражается каждый показатель. Они могут быть более сравнимыми, если каждый показатель выразить в виде его собственного стандартного отклонения, пользуясь коэффициентом регрессии в стандартизованном масштабе [2].

Расчитанное уравнение множественной регрессии в стандартизованном масштабе имеет вид

$$I^{лх'} = 0,1961\Phi_x' + 0,1888l' + 0,1652q_m' + 0,1531P_x' + 0,1438P_6' + \\ + 0,1411T' + 0,1350\Phi_6' + 0,1333M' + 0,0982On' + 0,0918q', \quad (2)$$

где  $I^{лх'}$ ,  $\Phi_x'$  и т. д. — значения соответствующих показателей в стандартизованном масштабе, то есть

$$I^{лх'} = \frac{I^{лх}}{\sigma_{I^{лх}}}; \quad \Phi'_x = \frac{\Phi_x}{\sigma_{\Phi_x}} \text{ и т. д.}$$

В уравнении (2) факторы расположены в порядке уменьшения степени их влияния на синтетический показатель.

По данным уравнения можно установить, что наибольшую степень влияния на уровень интенсивности лесного хозяйства имеют факторы  $\Phi_x$ ,  $I$  и  $q_m$ , которые надо расценивать как факторы, играющие ведущую роль в процессе интенсификации лесного хозяйства.

Интенсификация лесопользования не случайно определяется наращиванием основных фондов по хозяйственной деятельности или потенциальными возможностями хозяйства, поскольку эффект от их использования в меньшей мере связан с природными условиями ведения лесного хозяйства, что и обеспечивает сравнительно устойчивую реализацию потенциальной интенсивности лесопользования предприятий.

В противоположность этому, процесс лесовыращивания тесно связан с природной средой места произрастания лесов, и его интенсификация в большей мере определяется результатами производственной деятельности лесхозов, направленной непосредственно на выращивание леса. Иначе говоря, речь идет о повышении эффективности использования имеющихся резервов и возможностей.

Изложенные здесь методы сравнительного анализа достигнутого уровня интенсивности производства в лесхозах и факторов, его определяющих, позволяют более обоснованно выделить основные направления интенсификации лесного хозяйства и способы их осуществления.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Митропольский А. К. Элементы математической статистики. Л., 1969.  
[2]. Езекиэл М., Фокс К. А. Методы анализа корреляций и регрессий. М., «Статистика», 1966.

Поступила 21 марта 1975 г.

УДК 634.0.6 + 51

## СТРУКТУРА И ПРЕДПОСЫЛКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Л. М. МИХЕЕВА

Московский лесотехнический институт

Рассматривается структура задач лесного хозяйства (ЛХ) с точки зрения пяти основных логических элементов: цели, альтернатив достижения цели, ресурсов, математической модели и критерия. Степень структуризации определяется тем, насколько хорошо выделены эти элементы. Все задачи ЛХ разделяются на три условные группы: простые, программируемые и непрограммируемые. Описываются предпосылки решения этих групп задач ЛХ с помощью современных экономико-математических методов.

Структуру любой задачи определяют пять основных логических элементов: цель задачи; альтернативные варианты мероприятий, с помощью которых может быть достигнута цель; затраты ресурсов на каждый вариант достижения цели; математическая модель, отобра-

жающая связи между целями, альтернативами и затратами; критерий, с помощью которого сопоставляются в каждом конкретном случае цели и затраты и отыскивается наиболее рациональное решение.

Степень структуризации задач лесного хозяйства (задач ЛХ) определяется тем, насколько хорошо выделены указанные пять логических элементов задачи. От этого зависит возможность применения того или иного метода для ее решения. С этой точки зрения все задачи ЛХ условно можно разделить на три группы: простые, программируемые и непрограммируемые. Соответственно могут быть использованы следующие методы решения задач ЛХ: стандартные формулы и правила расчета решений; экономико-математические методы поиска оптимальных планов; системный анализ для построения рациональных хозяйственных альтернатив.

Простые задачи ЛХ, отличающиеся полной ясностью и однозначностью не только целей, альтернатив и затрат, но и самих решений, выполняют на основе заранее выработанных процедур, правил и четко определенных методик. К ним в лесном хозяйстве можно отнести, например, расчет размера пользования лесом, состояние лесного фонда и повышение продуктивности насаждений. Исходной информацией для определения размера пользования лесом являются итоги таблиц классов возраста, а также дополнительные данные: продолжительность класса возраста, шифр группы пород, площадь, пополняющая I класс возраста из несомкнувшихся культур и не покрытых лесом площадей, средний запас эксплуатационного фонда, возраст рубки, процент ликвида от общего запаса, процент деловой древесины от ликвида. Расчет ведут отдельно по каждой породе на начало и конец ревизионного периода с передвижкой на последующий ревизионный период. По четко выработанным формулам рассчитывают лесосеки сплошно-лесосечных, выборочных и постепенных рубок.

К программируемым задачам ЛХ относят многовариантные задачи, у которых элементы и связи могут быть выражены с помощью математической модели количественно. В этом случае наилучший из всех возможных вариантов решения может быть найден с использованием методов исследования операций и экономико-математических моделей. В планировании лесного хозяйства имеется множество таких задач, начиная от выбора оптимального варианта развития и реконструкции лесоустроительных предприятий и кончая выбором оптимального варианта размещения пожарно-химических станций.

Непрограммируемые задачи ЛХ, как правило, связаны с выработкой долгосрочных мероприятий, каждое из которых затрагивает многие аспекты функционирования лесного хозяйства и реализуется поэтапно. Процесс решения этих задач содержит, наряду с хорошо изученными, количественно формализуемыми элементами, также неизвестные и неизмеряемые компоненты, испытывающие на себе сильное влияние неопределенности. Такие задачи целесообразно решать с помощью методов системного анализа, сочетающих количественные и качественные соображения. Подобные задачи отличаются значительной неопределенностью и неформализуемостью как самих целей деятельности, так и возможных вариантов мероприятий. При решении их суждения, опыт, интуиция руководителей, квалифицированных специалистов приобретают решающее значение. Научные методы решения таких задач целесообразно строить на основе общих идей системного подхода, а также правильной организации экспертных опросов. К непрограммируемым задачам ЛХ можно отнести, например, задачу формирования долгосрочных и среднесрочных планов развития и созда-

ния новых лесоустроительных предприятий страны, определение стратегии развития лесного хозяйства, проектирование и создание ОАСУ «ЛХ» и т. п. В этих задачах какая бы то ни было формализация выбора наилучших вариантов решения наименее оправдана, хотя использование количественной информации и проведение вспомогательных расчетов также могут быть полезны.

Отнесение той или иной задачи ЛХ к одной из названных групп не носит постоянного характера. В процессе более глубокого изучения, осмысливания и анализа задачи ЛХ она из непрограммируемой может превратиться в программируемую (при повышении удельного веса формально-логического и математического описания задачи и ее элементов), а в ряде случаев и в простую (сводимую к тривиальному процессу вычисления по формулам или к выполнению рутинных, полностью автоматизированных операций).

Методы решения программируемых задач ЛХ основаны на применении математических моделей оптимального программирования. Наиболее обобщенной моделью поиска оптимальных решений является общая задача математического программирования, формулируемая следующим образом:

$$\begin{aligned} \Phi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq b_i & (i = 1, 2, \dots, m); \\ x_j &\geq 0 & (j = 1, 2, \dots, n); \\ \max(\min) Z &= f(x_1, x_2, \dots, x_n). \end{aligned}$$

Применительно к задачам выбора наилучших планов экономического поведения системы лесного хозяйства элементы общей задачи программирования интерпретируются следующим образом:

- $Z$  — оптимизируемая цель системы;
- $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  — целевая функция;
- $x_1, x_2, \dots, x_n$  — показатели степени использования средств достижения цели;
- $\Phi_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  — функция совокупных затрат средств  $i$ -той группы, используемых для достижения целей;
- $b_i$  — предельные границы совокупности затрат средств  $i$ -той группы.

Сведение программируемых задач ЛХ к моделям оптимизации решений, являющихся конкретизацией общей задачи математического программирования, основано на ряде исходных предположений, среди которых ключевыми являются следующие: 1) наличие единого критерия оптимизации решений, который может быть количественно измерен; 2) признание ограниченности («дефицитности») средств достижения цели; 3) наличие взаимозаменяемости средств и многовариантность их использования для достижения цели; 4) предпосылка полной рациональности — цель деятельности осознается с высокой степенью конкретности как единая количественно измеряемая категория; 5) предпосылка всесторонних знаний — все альтернативные возможности достижения целей заранее известны и хорошо описаны, остается лишь сравнить и оценить их; 6) предпосылка безграничности вычислительных возможностей — ресурсы, предназначенные для реализации самого процесса исследования по отысканию наилучшего решения (мощность ЭВМ, численность групп специалистов, срок выдачи рекомендаций и др.) не лимитируют возможность построения этого решения.

Методы решения непрограммируемых задач ЛХ основаны на принципах, отличных от принципов решения программируемых задач ЛХ.

Эти различия касаются пяти основных моментов: учета фактора неопределенности при выработке решений; общей модели выбора решений; процесса нахождения решений; учета фактора времени при построении решений; человеческих и организационных факторов.

Термином «неопределенность» обозначается отсутствие или неполнота знаний при постановке соответствующих задач ЛХ. Это прежде всего факторы, связанные с научно-техническим прогрессом, природно-климатическими условиями, неоднозначностью поведения людей и т. д. При этом меняется общая модель выбора решений, которая основывается на следующих предпосылках: цели в таких задачах ЛХ являются многозначными и не сводимыми к единому целевому показателю, на основе которого может быть сформулирован критерий оптимальности; при выборе решений аналитическому исследованию доступно ограниченное множество альтернатив, далеко не исчерпывающее всего набора хозяйственных условий и стратегий; поиск наиболее рационального решения происходит в условиях ограниченности времени, материальных и финансовых ресурсов, а также вычислительных возможностей ЭВМ и человеческих знаний, что не позволяет получить к нужному сроку весь комплекс обоснований и расчетов, которые в идеале следовало бы реализовать.

Таким образом, главной задачей ставится поиск решения, удовлетворительного с точки зрения многих целей. В этом случае требование построения единого и единственного показателя степени достижения целей, выступающего в роли критерия оптимальности, заменяется требованием построения набора целевых показателей (элиминирующих критериев). Каждый вариант плана, который может стать основой принятия решения, должен обязательно обеспечивать минимально необходимую степень достижения всех без исключения целей. Это значит, что набор критериев выбора решений хотя и не обеспечивает ранжирование хозяйственных альтернатив в порядке их предпочтения, но позволяет отсеивать все те альтернативы, которые недостаточно хороши с позиций хотя бы одного критерия. Результат анализа, осуществляемого на такой основе, — выявление нескольких вариантов, представляемых на рассмотрение руководству, каждый из которых является в принципе удовлетворительным с точки зрения поставленных целей. В ряде случаев к этому «суженному» множеству вариантов, отобранному по элиминирующим критериям, целесообразно применить «взвешивающий» критерий, хотя бы приближенно соизмеряющий различные цели в едином показателе. Однако главное значение как при построении такого критерия, так и при окончательном выборе решения все же имеет субъективное суждение ответственного руководителя.

Изменение общей модели выбора решения приводит к изменению процесса его нахождения. Поиск решения в этом случае рассматривается как многоступенчатый повторяющийся процесс итерационного типа, в ходе которого постоянно сравниваются цели с возможностями их достижения, изыскиваются новые возможности и сами цели корректируются: в сторону увеличения, если выявлены дополнительные ресурсы, и в сторону снижения, если первоначально сформулированные цели оказались нереальными.

Приобретает весьма важное значение и фактор времени. Процесс выработки хозяйственной стратегии в таких задачах рассматривается как серия последовательных решений, каждое из которых, во-первых, окончательно не принимается до тех пор, пока это не вызывается объективной необходимостью; во-вторых, при каждом последующем решении учитывается информация, постоянно накапливаемая в резуль-

тате реализации предыдущих решений. Это может привести к совершенно новому направлению развития, соответствующему изменившимся условиям, новым возможностям и откорректированным целям.

Рассмотренные предпосылки реализуются в методологии системного анализа.

Системный анализ — более общая и гибкая, но менее точная методология решения — во многих случаях должен рассматриваться как стадия, предшествующая разработке и использованию экономико-математических моделей, и как общая основа их построения в задачах ЛХ.

Поступила 26 февраля 1975 г.

УДК 674 : 65.011.56 : 681.3

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ЛЕСНОЙ, ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ И ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (На примере Коми АССР)

Ю. В. МАРКИН

Ленинградская лесотехническая академия

Освещается современное состояние лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности в Коми АССР. Приводится схема организационной и производственной структуры управления предприятиями отрасли. Рассматриваются основные направления развития лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. Предлагается новая организационная и производственная структура управления предприятиями отрасли.

В директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. указывается на необходимость «усилить работу по концентрации и кооперированию производства, специализации предприятий и рационализации хозяйственных связей между ними, по созданию крупных объединений и комбинатов с учетом особенностей отдельных отраслей» [5].

Коми АССР — один из перспективных районов дальнейшего развития лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности страны. Общие запасы спелой древесины здесь достигают 2,4 млрд. м<sup>3</sup>, или 1/5 всех запасов европейской части СССР.

Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность занимают ведущее место в Коми АССР; объем лесозаготовок составляет почти 22 млн. м<sup>3</sup>.

Основной лесозаготовитель на территории Коми АССР — Министерство лесной и деревообрабатывающей промышленности СССР (в 1971—1972 гг. — 70% всего объема лесозаготовок).

Общее руководство лесозаготовками по линии Минлеспрома СССР в пределах Коми АССР осуществляется Государственным промышленным хозрасчетным объединением лесозаготовительной промышленности (ГПХО) «Комилеспром», которое занимается также выработкой пиломатериалов, технологической щепы, тары, шпал и т. д.

По состоянию на 1 января 1973 г. в состав ГПХО «Комилеспром» входило 54 предприятия и организаций.

В то же время в пределах Коми АССР расположены довольно крупные предприятия по переработке древесины, подчиненные другим органам Минлеспрома СССР: Жешартский фанерный завод (ГПХО «Фанспичпром»), мебельная фирма «Север» (ГПХО «Центромебель»), строящийся Княжпогостский завод ДВП (ГПХО «Союзлесдрев») и др. Кроме того, Ухтинский ремонтно-механический завод, Княжпогостский и Сыктывкарский механические заводы подчиняются ГПХО «Лесрем-маш», а производственная база в г. Печоре — тресту «Лесстройдеталь» Всесоюзного объединения «Союзлесстрой».

Сравнительно недавно введен в эксплуатацию Сыктывкарский лесопромышленный комплекс (I очередь) — одно из крупнейших предприятий по переработке древесины в стране, который находится в ведении Министерства целлюлозно-бумажной промышленности СССР.

В перспективе ожидается рост лесозаготовок в пределах Коми АССР до 30 млн. м<sup>3</sup> в год, намечается построить ряд новых предприятий по переработке древесины, а именно Троицко-Печорский ЛДК и завод ДСП, Печорский ЛДК и завод ДВП, Печорский завод ДВП, Ухтинский завод ДВП, Усогорский завод ДСП, Кажимский ЛДК и др.

Кроме того, будет продолжена реконструкция действующих предприятий, таких, как Жешартский фанерный завод и Сыктывкарский ЛДК. В текущем пятилетии вступит в эксплуатацию Сыктывкарская мебельная фабрика.

В целлюлозно-бумажной промышленности, помимо дальнейшего расширения Сыктывкарского ЛПК (II и III очереди строительства) в перспективе возможно строительство в Коми АССР еще одного лесопромышленного комплекса, а именно Троицко-Печорского ЛПК.

В связи с намечаемым ростом объемов производства, изменением структуры и размещения лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности в пределах Коми АССР, по нашему мнению, одновременно должны произойти изменения и в управлении предприятиями этих отраслей.

На наш взгляд, совершенствование управления следует осуществлять последовательно в два этапа.

На I этапе в Минлеспроме СССР следует создать производственно-территориальные объединения, более крупные по сравнению с существующими объединениями. В состав производственно-территориальных объединений предлагается включить все предприятия лесной и деревообрабатывающей промышленности, независимо от их подотраслевой подчиненности. Эти предприятия должны быть по возможности сгруппированы в отдельные лесопромышленные комплексы (ЛПК).

Лесопромышленным комплексом следует считать группу предприятий, связанных с заготовкой, транспортировкой и переработкой древесины, либо осуществляющих только переработку (преимущественно в лесодефицитных районах). Однако в обоих случаях ЛПК должен обеспечивать высокую степень переработки древесины.

Предприятия ЛПК могут быть расположены на одной или нескольких площадках. Единство лесосырьевой базы, энергетического или транспортного хозяйства для ЛПК необязательно.

В противоположность взглядам других авторов [1], [6], [7], мы считаем обязательным условием для организации ЛПК единство организационного управления и руководства им.

Следует иметь в виду, что в текущем пятилетии разрабатывается и внедряется I очередь автоматизированной системы управления (АСУ) в лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. В основе АСУ лежит сеть повсеместно создаваемых кустовых

информационно-вычислительных центров (КИВЦ), призванных обеспечить сбор и обработку информации для предприятий и организаций независимо от их подчиненности в настоящее время [2] — [4]. В частности, Сыктывкарский КИВЦ создается для обслуживания предприятий ГПХО «Комилеспром» и других предприятий Минлеспрома СССР.

В связи с изложенным, по нашему мнению, в пределах Коми АССР может быть создано производственно-территориальное объединение на базе ныне действующего ГПХО «Комилеспром». Ориентировочно, в состав этого объединения должны войти:

#### *А. Действующие и строящиеся предприятия*

Лесозаготовительные и лесопильно-деревообрабатывающие предприятия ГПХО «Комилеспром», мебельная фирма «Север», Сыктывкарская мебельная фабрика, Жешартский фанерный завод, Княжпогостский завод ДВП, ремонтно-механические и механические заводы в городах Ухте, Княжпогосте, Сыктывкаре, производственная база в г. Печоре.

#### *Б. Намечаемые к строительству предприятия*

Троицко-Печорский ЛДК и завод ДСП, Печорский ЛДК и завод ДВП, Ухтинский завод ДВП, Усогорский завод ДСП, Кажимский ЛДК.

В перспективе в Коми АССР намечаются следующие основные пункты концентрации промышленности по переработке древесины: Сыктывкарский, Печорский, Троицко-Печорский, Жешартский, Кажимский. К этим же пунктам переработки древесины по условиям поставки древесины (сплавом или по железной дороге) тяготеют и определенные лесозаготовительные предприятия.

В связи с этим схема управления предприятиями производственно-территориального объединения в Коми АССР на I этапе может быть рекомендована в следующем виде (схема 1).

Таким образом, в составе производственно-территориального объединения «Комилеспром» предлагается организовать пять основных ЛПК, выделенных по принципу концентрации древесины в пунктах ее переработки. Не исключено, что какая-то незначительная часть предприятий будет находиться в непосредственном подчинении у объединения «Комилеспром». Сыктывкарский ЛПК Министерства целлюлозно-бумажной промышленности на I этапе остается в прежнем подчинении.

На II этапе, когда Сыктывкарский ЛПК Министерства целлюлозно-бумажной промышленности достигнет проектной мощности и будет начато строительство аналогичного ЛПК в Троицко-Печорске, представленную выше перспективную схему управления следует изменить.

В пределах Коми АССР все запасы древесины по существу являются лесосырьевой базой двух, а в дальнейшем, возможно, и трех целлюлозно-бумажных предприятий (Сыктывкарского, Котласского и Троицко-Печорского), поэтому именно они, на наш взгляд, и должны быть головными в составе лесопромышленных комплексов. Остальные же предприятия по переработке древесины будут, очевидно, филиалами головного предприятия комплекса, не говоря уже о лесозаготовительных предприятиях, которые превращаются в лесосырьевые цехи.

Соответственно, на II этапе схема управления предприятиями лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности в Коми АССР может быть предложена в виде схемы 2.



Схема 1.



Схема 2.

В результате осуществления предлагаемых изменений в структуре управления предприятиями лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности в Коми АССР будет достигнуто:

- приближение руководства производственно-территориального объединения «Комилеспром» к ЛПК и предприятиям;
- рост концентрации промышленности;
- улучшение технико-экономических показателей, связанное с укрупнением производства и централизацией руководства;
- улучшение комплексного использования древесины;
- возможность наиболее эффективного применения ЭВМ для целей планирования и управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Лобовиков Т. С., Цывин В. Л. О понятии «лесопромышленный комплекс». — Материалы научно-технической конференции 1967 г. Л., ЛТА, 1967.
- [2]. Маркин Ю. В. Перспективная сеть информационно-вычислительных подразделений автоматизированной системы управления объединения «Комилеспром». Коми республиканская организация общества «Знание», 1973. [3]. Маркин Ю. В. Автоматизированные системы управления в лесной и деревообрабатывающей промышленности. — «Деревообрабатывающая промышленность», 1974, № 2. [4]. Маркин Ю. В., Рапопорт Е. Н. Перспективная сеть информационно-вычислительных подразделений отраслевой АСУ Минлеспрома СССР. — «Деревообрабатывающая промышленность», 1973, № 3. [5]. Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1971.
- [6]. Медведев Н. А. Экономические проблемы развития и размещения лесной и лесоперерабатывающей промышленности Европейского Севера. Дисс. на соиск. учен. степени канд. эконом. наук. Л., 1971. [7]. Шлыков В. М. Проблемы формирования новой лесопромышленной базы страны в составе Западно-Сибирского народнохозяйственного комплекса. Дисс. на соиск. учен. степени канд. эконом. наук. Л., 1973.

Поступила 21 марта 1975 г.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 634.0.231

**СЕЗОННЫЙ РОСТ ПОДРОСТА ЛИСТВЕННОЙ ДАУРСКОЙ  
В СВЯЗИ С ПРИРОДОЙ ВЫРУБОК  
ЗАПАДНЫХ СКЛОНОВ БУРЕЙНОГО ХРЕБТА**

*В. И. ОБЫДЕННИКОВ*

ВНИИЛМ

Излагаются материалы о сезонном росте лиственницы даурской в связи с изменениями лесорастительных условий в течение вегетационного периода на вейниковых и багульниковых вырубках западных склонов Буреинского хребта.

В лесах западных склонов Буреинского хребта наиболее распространены вейниковые и багульниковые вырубки, на которых в последующем возобновлении, как правило, преобладает лиственница даурская. Вопрос о сезонном росте подростка лиственницы даурской на вырубках в связи с их природой слабо освещен в литературе.

Сезонный прирост подростка лиственницы на вейниковых и багульниковых вырубках мы изучали в соответствии с методиками И. С. Мелехова [1], А. А. Молчанова и В. В. Смирнова [2] с необходимыми дополнениями и изменениями. Природу вырубок детально исследовали с использованием современных приемов и методов, принятых в геоботанике, климатологии и почвоведении. Экспериментальные работы проводили в течение вегетационных периодов 1968—1970 гг. в Тынминском и Ургальском лесхозах Хабаровского края, на стационарных пробных площадях вырубок (6—8-летней давности) вейникового и багульникового типов.

Общий сезонный рост подростка лиственницы определяется его биологией и климатическими условиями района, однако интенсивность роста на вырубках зависит от их природы (типа). На вейниковых вырубках по сравнению с багульниковыми верхние горизонты почвы в течение вегетационного периода обладают меньшей кислотностью, более интенсивными процессами аммонификации и нитрификации, меньшими колебаниями влажности подстилки, лучшей прогреваемостью корнеобитаемого слоя (рис. 1, 2). В связи с этим сезонный прирост подростка лиственницы на вейниковых вырубках значительно выше, чем на вырубках багульникового типа. Кроме того, на вейниковых вырубках живой напочвенный покров не оказывает заметного влияния на рост подростка, а на багульниковых вырубках густой багульниковый покров угнетающе влияет на рост подростка (табл. 1).

Таблица 1

Период роста	Прирост в высоту, см, на вырубках					
	вейниковых при проективном покрытии поверхности почвы вейниковым покровом			багульниковых при проективном покрытии поверхности почвы багульниковым покровом		
	0,2	0,4	0,8	0,2	0,4	0,8
5.VI—20.VI	0,14	0,14	0,15	0,13	0,12	0,10
21.VI—5.VII	0,87	0,91	0,95	0,80	0,66	0,30
6.VII—20.VII	6,88	6,27	6,21	5,90	4,70	3,02
21.VII—5.VIII	2,72	2,44	2,20	1,98	1,50	0,65
6.VIII—20.VIII	0,19	0,19	0,18	0,16	0,15	0,12
Итого за вегетационный период	10,80	9,95	9,69	8,97	7,13	4,19

На вейниковых вырубках прирост подростка лиственницы в высоту с 6 по 20 июня составлял 1,3—1,5%, с 21 июня по 5 июля — 8—10%, а с 6 по 20 июля — 63—64%, с 21 июля по 5 августа — 22—26% и с 6 по 20 августа 1,8—2,0% прироста подростка

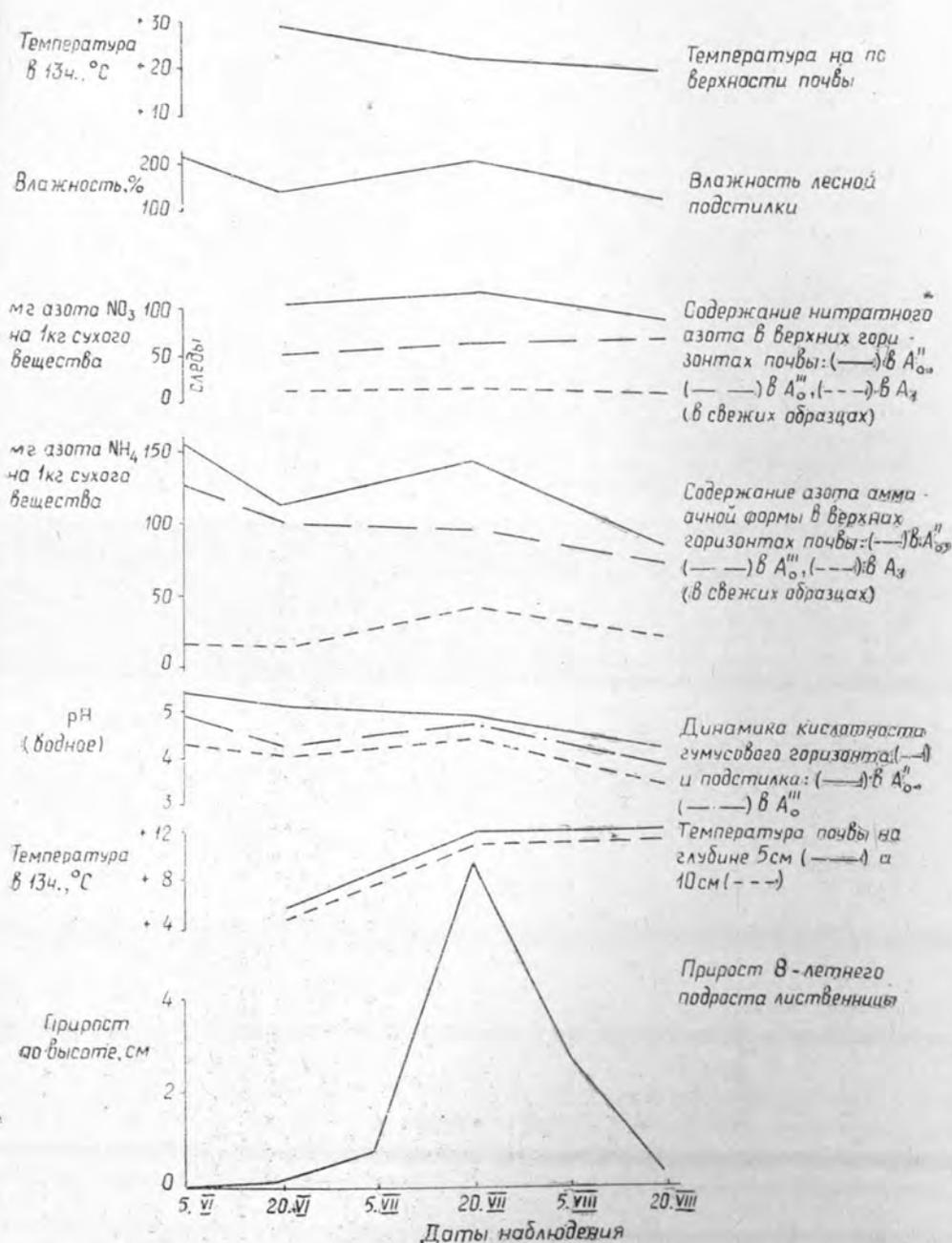


Рис. 1. Прирост подроста лиственницы и изменения лесорастительных условий на вейниковых вырубках в течение вегетационного периода 1969 г.

за весь вегетационный период. Наиболее интенсивный рост наблюдался с 6 по 20 июля. Этот период на вейниковых вырубках характеризовался усилением интенсивности процессов аммонификации и нитрификации, понижением кислотности верхних горизонтов почвы, повышением температуры почвы на глубине 5 и 10 см, незначительным

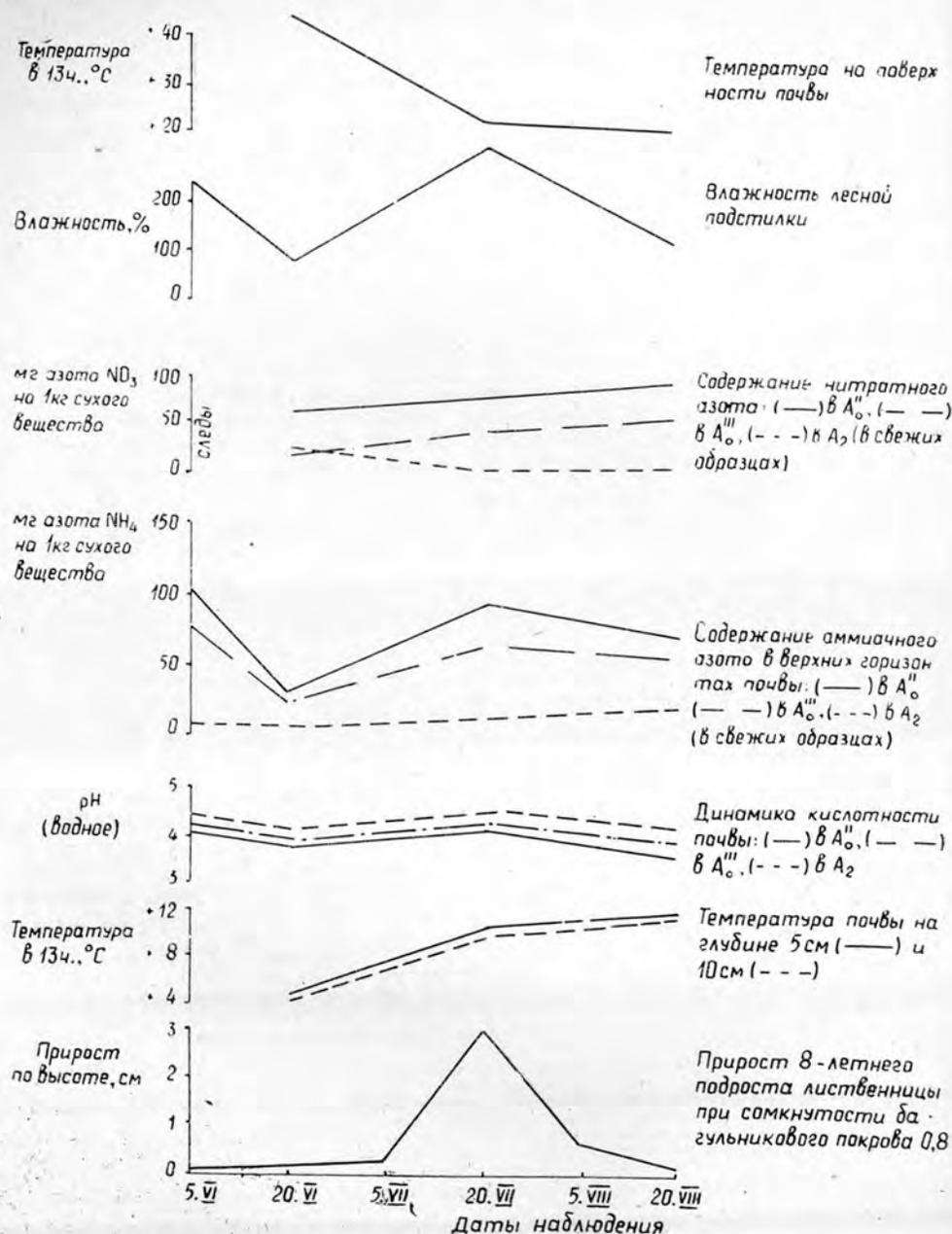


Рис. 2. Прирост подроста лиственницы и изменения лесорастительных условий на багульниковых вырубках в течение вегетационного периода 1969 г.

колебанием температуры на поверхности почвы и влажности подстилки в связи с затеняющим влиянием вейникового покрова. Начиная с 20 июля, по мере ухудшения лесорастительной среды (рис. 1) рост подроста значительно снижался, а с 5 августа — почти прекращался.

Сезонный рост подроста лиственницы на багульниковых вырубках по сравнению с вейниковыми замедлен (табл. 1). Максимальный прирост в высоту на багульнико-

вых вырубках (рис. 2), как и на веяниковых, приходился на 6—20 июля, то есть совпадал с наиболее благоприятным периодом сезона изменений лесорастительных условий.

### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Мелехов И. С. Рубки главного пользования, 2-ое изд., М., Гослесбумиздат, 1966. [2]. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. М., «Наука», 1967.

УДК 634.05

## КОЛЬЦЕВЫЕ ПРОБНЫЕ ПЛОЩАДИ И СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ

Б. Б. ЗЕЙДЕ

ВНИИСтандартизации

Одна из закономерностей полноты древостоя — ее свойство образовывать круговые затухающие волны, центрами которых являются самые крупные деревья. Это свойство удалось обнаружить с помощью кольцевых пробных площадей, позволяющих определить изменение таксационных показателей вокруг заданной точки древостоя.

Существующие виды пробных площадей (прямоугольные, круговые, ленточные, угломерные и др.) предназначены главным образом для нахождения средних показателей древостоев. В то же время в ряде случаев возникает необходимость в изучении закономерностей изменения таксационных показателей вокруг какой-нибудь точки древостоя, в изучении структуры древостоев. Эта задача актуальна в связи с тем, что рост и выживание деревьев в значительной степени определяются их размещением в древостое. Неоднородность и неслучайность размещения деревьев в сообществе делает поиски закономерностей структуры древостоев весьма важными для таксации леса.

Решение этой задачи необходимо для изучения барьирования полноты в древостое. «Полнота неравномерная», — часто пишут таксаторы, отмечая довольно распространен-

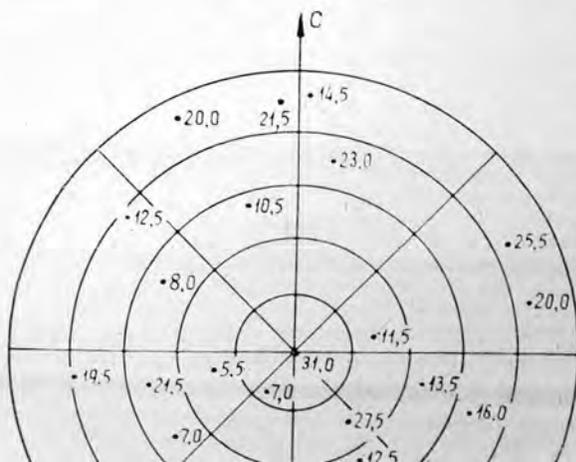


Рис. 1.

ное свойство древостоев, которое важно знать при проведении рубок ухода, выборочных и постепенных рубок, при содействии естественному возобновлению и др. В ряде случаев краткая формула оказывается недостаточной и возникает необходимость в более подробной информации, для чего весьма полезным было бы нахождение общих закономерностей изменения полноты в древостое. В качестве показателя полноты в настоящей работе принята сумма площадей сечения деревьев в переводе на 1 га.

Нами предложен и в полевых условиях испытан новый вид пробных площадей — кольцевые пробные площади. Их закладывают в виде концентрических колец, на которых ведут пересчет по секторам, образованным натянутыми шнурами (рис. 1). Записи диаметров можно делать прямо на чертеже. Кольцевые пробные площади позволяют не только найти средние показатели древостоев, но и установить характер их изменения в окрестности точки, выбранной в качестве центра. Кольцевые пробные площади, заложенные нами в Горьковской области, состояли из 5 колец, шириной 2 м каждое. Они делились на 8 секторов.

Уже первое применение кольцевых пробных площадей позволило обнаружить новую закономерность изменения полноты в древостое. В числе пробных площадей, заложенных в одновозрастном древостое, не тронутом рубками ухода (Семеновский лесхоз, Лобачевское лесничество, квартал 57, выдел 54, 10С, брусничник, 65 лет,  $H = 19,7$  м,  $D = 18,5$  см,  $G = 27,7$  м<sup>2</sup>/га), оказалось пять, в центре которых находились самые крупные деревья древостоя. Распределение полноты по кольцам этих пробных площадей показано в табл. 1.

Таблица 1

Номер пробной площади	Полнота по кольцам пробных площадей					Наличие волн полноты
	1	2	3	4	5	
1	79,4	0	17,4	27,3	6,3	+
2	63,1	22,3	17,6	22,8	30,4	+
3	59,3	14,2	33,3	34,7	27,8	+
4	82,5	0	25,9	47,0	41,3	+
5	52,5	0	49,9	19,6	31,1	+
Среднее	67,4	7,3	28,8	30,3	27,4	

Рассматривая таблицу, можно заметить, что кольца с повышенной полнотой во всех случаях сменяются кольцами с пониженной полнотой. Критерий знаков Ван дер Вардена свидетельствует о достоверности существования волн полноты в исследованном объекте.

Большой интерес представляет вопрос о том, насколько общей является волновая природа пространственного распределения полноты в древостое. С этой целью мы воспользовались материалами измерений древостоя, содержащими сведения о месте и размерах каждого дерева. Эти материалы, любезно предоставленные нам заведующим лабораторией ВНИИЛМа, канд. сельскохозяйственных наук В. С. Чуенковым, были собраны под его руководством в еловом древостое Московской области, пройденном умеренными рубками ухода (Загорский лесхоз, Веригинское лесничество, квартал 15, пробная площадь № 2, 9Е1Б, кисличник, 75 лет,  $H = 20,1$  м,  $D = 19,3$  см,  $G = 26,5$  м<sup>2</sup>/га). По составу, географическому положению и другим признакам этот древостой отличается от древостоя, рассмотренного выше. Тем не менее и в этом случае на всех 10 кольцевых пробных площадях, заложенных камеральным путем вокруг самых крупных елей, обнаружены волны полноты. Средняя полнота по кольцам составила: 1—89,4; 2—14,8; 3—24,0; 4—29,4; 5—23,0; 6—21,6.

Возраст периферийных деревьев примерно равен возрасту центрального дерева, поэтому обнаруженные волны не следует смешивать с кольцами подроста.

УДК 629.1

## ПРОДОЛЬНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ГРУНТА ПРИ ПОВОРОТЕ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

С. А. ВОРУХАЙЛОВ

Уральский лесотехнический институт

Приведены результаты теоретического и экспериментального исследования работы по продольной деформации грунта гусеницами в зависимости от буксования, радиуса поворота и продольного смещения полюса вращения. Установлена зависимость тягово-цепных качеств гусеничных машин от указанных параметров поворота.

На базе применяемых в лесной промышленности гусеничных тракторов создаются многие лесозаготовительные машины, к тягово-цепным качествам которых предъявляются повышенные требования.

При повороте, когда тяговое усилие на отстающей гусенице становится отрицательным, тягово-цепные качества гусеничных машин ухудшаются. Сила тяги в этом случае реализуется только через забегающую гусеницу. В связи с этим представляет практический интерес изучение влияния общей компоновки машины (агрегата) на их тягово-цепные качества при повороте. В статье приведены результаты исследования этого вопроса в некоторых аспектах.

Резкое повышение буксования гусениц с ростом силы тяги происходит при достижении предела пластической деформации грунта. По многочисленным опытам [3], с ростом буксования коэффициент сцепления увеличивается до определенного предела. В большинстве случаев его максимальное значение соответствует коэффициенту буксования  $\delta = 0,25 \div 0,30$ . Дальнейший рост буксования приводит к уменьшению сцепления из-за практически полного разрушения грунта под гусеницами.

При прямолинейном движении вследствие буксования звенья опорной поверхности деформируют грунт, оставаясь параллельными самим себе. Работа по деформации грунта гусеницами в этом случае определяется скоростью буксования  $v_6$  и временем контакта звена с грунтом  $t_k$ . Эпюра перемещения точек элементарного отрезка опорной поверхности, представленного поперечной линией, равной ширине гусеницы  $b$ , имеет вид прямоугольника, площадь которого

$$F_{э.д} = bv_6 t_k. \quad (1)$$

В свою очередь,

$$v_6 = v_T \delta; \quad t_k = \frac{x}{v_T},$$

где  $v_T$  — теоретическая скорость движения гусеницы;

$x$  — расстояние элементарного отрезка от переднего конца опорной поверхности гусеницы.

Тогда

$$F_{э.д} = \delta bx. \quad (2)$$

Площадь  $F_{э.д}$  характеризует работу по деформации грунта гусеницами в продольном направлении. Она принята в качестве оценочного параметра для изучения деформации грунта при повороте машин.

Точки опорной поверхности гусениц при повороте совершают сложное движение. Звенья гусениц в результате поперечного скольжения оставляют ранее спрессованный грунт и деформируют свежий. Вращательная скорость звеньев суммируется со скоростью буксования. В результате точки, расположенные по ширине гусеницы на некотором удалении друг от друга, имеют разные скорости в продольном направлении. На рис. 1 приведена схема для определения площади эпюры продольной деформации грунта  $F_{э.д}$  забегающей гусеницей.

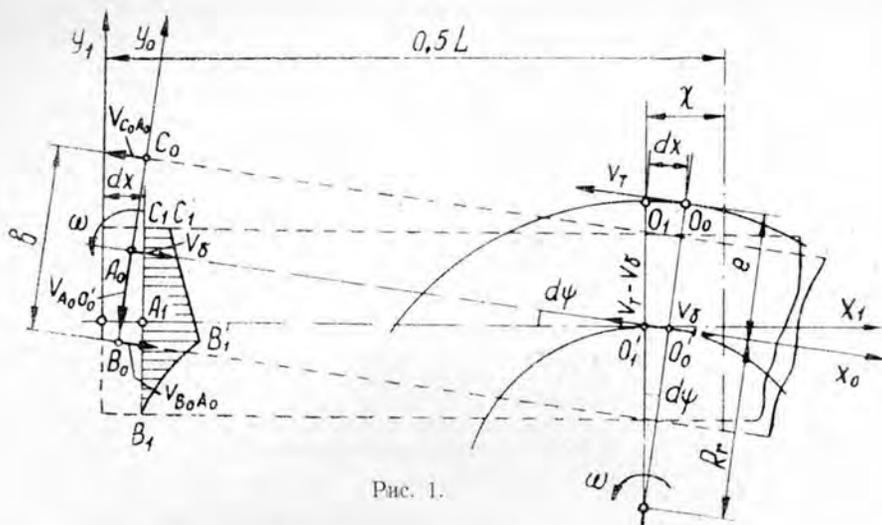


Рис. 1.

С момента контакта элементарного отрезка гусеницы с поверхностью (рис. 1) движение его относительно этой поверхности определяется векторной суммой скорости буксования гусеницы  $v_{\delta}$ , скорости  $v_{A_0 O_0'}$  — середины отрезка  $A_0$  относительно проекции  $O_0'$  полюса вращения  $O_0$  на продольную ось гусеницы и линейной скорости, определяемой угловой скоростью  $\omega$  отрезка  $B_0 C_0$ . Скорости концов отрезка  $B_0$  и  $C_0$  относительно его середины равны по величине и противоположны по направлению  $v_{B_0 A_0} = -v_{C_0 A_0}$ . При повороте гусеницы на угол  $d\psi$  элементарный отрезок переместится в положение  $B_1 C_1$ . Величина продольного перемещения точек отрезка имеет вид эпюры, ограниченной ломаной линией  $B_1 B' C_1$ . Задача заключается в определении площади этой эпюры, то есть зависимости  $F_{\text{э.д.п}} = f(x)$ . В общем случае

$$F_{\text{э.д.п}} = \delta b x k_{ni}, \quad (3)$$

где  $k_{ni}$  — коэффициент, характеризующий изменение площади эпюры продольной деформации грунта гусеницей при повороте в сравнении с площадью деформации при прямолинейном движении.

Вид формул, используемых для определения коэффициента  $k_{ni}$ , зависит от положения элементарного отрезка на продольной оси гусеницы. Характерны три случая: первый, когда элементарный отрезок находится на передней части опорной поверхности до совпадения его с проекцией полюса вращения (точкой  $O_0'$ ), то есть  $x < 0,5L - \chi$  ( $\chi$  — продольное смещение полюса вращения от середины опорной поверхности гусеницы); второй, когда  $0,5L - \chi < x < L - 2\chi$ ; и третий, когда  $x > L - 2\chi$ . Соответственно коэффициенты  $k_{ni}$  для этих участков определяются из следующих выражений:

$$k_{n1} = 1 - \frac{1-\delta}{2bR_r} \left[ (0,5L - \chi) x - \frac{x^2}{2} \right] - \frac{(1-\delta)^2}{24\delta R_r^2} x^2; \quad (4)$$

$$k_{n2} = 1 - \frac{1-\delta}{4bR_r x} \left[ x_3 + \frac{x_3^2}{0,5L - \chi} + (0,5L - \chi)(1 - x_3^2) \right] - \frac{(1-\delta)^2}{24\delta R_r^2 x} \left[ 8x_3^3 - \frac{3x_3^4}{0,5L - \chi} + (0,5L - \chi)^3 + 3x_3^2(0,5L - \chi) \right] + \frac{(1-\delta)^3}{12\delta b R_r^3 x} \left[ x_3^4(0,5L - \chi) + x_3^3(0,5L - \chi)^2 \right]; \quad (5)$$

$$k_{n3} = 1 - \frac{1-\delta}{4bR_r x} \left[ (0,5L - \chi) x_3^2 + x_3^3 \right] + \frac{(1-\delta)^2}{24\delta R_r^2 x} \left[ 12(0,5L - \chi)^3 + 6(0,5L - \chi) x_3^2 + x_3^3 \right] - \frac{(1-\delta)^3}{24\delta R_r^3 x} (0,5L - \chi) x_3^2 -$$

$$-\frac{(1-\delta)b}{\delta R_r x} (L-2\chi) + \frac{(0,5L-\chi)[24R_r(1-\delta)b-5(1-\delta)^2(0,5L-\chi)^2]}{12\delta b R_r^2 x} \times \\ \times \frac{2bR_r-(1-\delta)x_3^2}{2bR_r-(1-\delta)(0,5L-\chi)^2} \left(b - \frac{1-\delta}{2R_r} x_3^2\right), \quad (6)$$

здесь  $x_3 = x - (0,5L - \chi)$ .

Из выражений (4), (5) и (6) следует, что эпюра продольной деформации грунта зависит от переменных параметров движения машины: радиуса поворота гусениц  $R_r$ , буксования  $\delta$  и продольного смещения полюсов вращения  $\chi$ . Величина  $\chi$  зависит от положения центра давления машины, радиуса ее поворота и др. [1].

На рис. 2 показан характер распределения продольной деформации грунта  $F_{\Sigma, д.п}$  по длине опорной поверхности гусеницы  $x$ , когда  $\chi = 0$  и  $b = 45$  см. Значения буксования определены по экспериментальной зависимости его от радиуса поворота при движении трактора без груза по среднему суглинку (лесные почвы) весовой влажностью 18—32% [2].

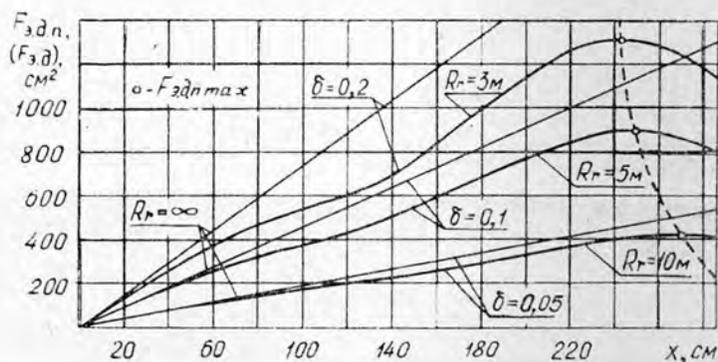


Рис. 2.

Из графиков видно, что суммарная продольная деформация грунта гусеницей при повороте трактора меньше, чем при прямолинейном движении для одних и тех же значений буксования. С уменьшением радиуса поворота эта разница увеличивается.

Так как соотношение суммарных площадей  $\frac{\Sigma F_{\Sigma, д.п}}{\Sigma F_{\Sigma, д}} < 1$ , то становится очевидным, что при повороте касательные силы тяги реализуются гусеницами при больших значениях буксования, чем равные им силы тяги при прямолинейном движении машины в тех же условиях.

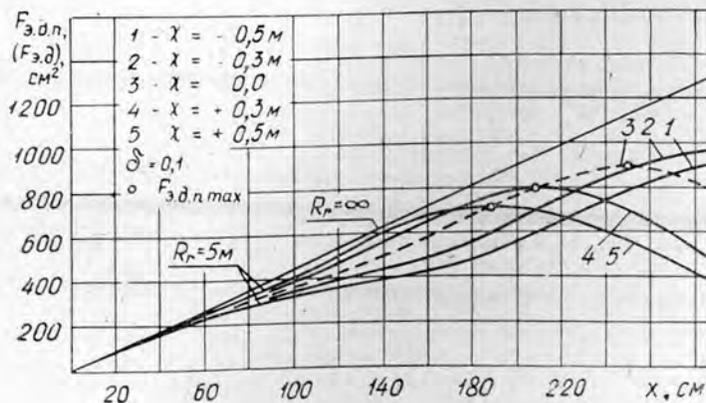


Рис. 3.

Зависимость величины продольной деформации грунта по длине опорной поверхности при различных значениях величины продольного смещения полюса вращения показана на рис. 3. В случае смещения полюса вращения назад ( $-x$ ) участок наиболее деформированного грунта находится под задними звеньями при некотором относительном уменьшении площади  $F_{э.д.п}$  под передними участками гусениц. Общий характер распределения продольной деформации грунта в этом случае подобен деформации его при прямолинейном движении, то есть ордината кривой монотонно растет по мере удаления звена от переднего конца опорной поверхности. При смещении полюса вращения вперед ( $+x$ ) продольная деформация грунта распределяется по длине опорной поверхности гусеницы более равномерно. Она значительно снижается под задними звеньями и несколько увеличивается под передними. Максимум деформации грунта смещается к середине опорной поверхности с увеличением  $x$ .

Срыв грунта в результате буксования гусениц происходит вначале в той зоне, где прунт претерпевает наибольшую деформацию. При прямолинейном движении и повороте, когда полюс вращения смещен назад, деформация происходит под задними звеньями, распространяясь затем к передней части опорной поверхности. Более равномерная деформация грунта в случае смещения полюса вращения вперед улучшает тягово-сцепные качества машины.

Выводы аналитического решения подтверждаются экспериментально. Если при прямолинейном движении уменьшение силы тяги из-за срыва грунта происходило при буксовании, равном 0,35—0,45, то движение трактора на повороте было устойчивым даже при буксовании, равном 0,60—0,70. Касательная сила тяги на забегающей гусенице во втором случае была значительно больше, чем сила тяги одной гусеницы в первом случае.

Таким образом, потери на буксование неизбежно больше при повороте гусеничных машин, чем при прямолинейном движении. Однако сила тяги забегающей гусеницы при этом может быть значительно увеличена путем смещения вперед полюса ее вращения. Продольное смещение полюса вращения зависит от положения центра давления машины, точки прицепки перемещаемого груза, радиуса поворота и других параметров, относящихся к компоновке машины (агрегата) и режиму поворота. Учитывая закономерности продольного смещения полюса вращения, можно повысить тягово-сцепные качества гусеничных машин.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ворухайлов С. А. Экспериментальный метод определения продольного смещения полюса вращения при повороте гусеничного трактора. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1970, № 3. [2]. Ворухайлов С. А. О буксовании при повороте гусеничного трелевочного трактора. — Труды УЛТИ, вып. XXV. Свердловск, 1972. [3]. Забавников Н. А. Основы теории транспортных гусеничных машин. «Машиностроение», 1968.

УДК 674.817:621.822.5

### О РАЗБУХАНИИ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В ГОРНЫХ МАШИНАХ

И. И. ЛЕЕПА, В. И. КОВАЛЬ, Ю. А. СИДОРЕНКО, А. Ф. ТРУШКИН

Днепропетровский химико-технологический институт

Исследованы изменения линейных размеров прессованной древесины, идущей на горнообогатительных комбинатах на изготовление вкладышей нижних опор классификаторов и флотационных машин. Даны результаты исследования прессованной древесины марки ДП-0 в воде, масле и на воздухе при соответствующих температурах и влажности.

Прессованная древесина (ГОСТ 9629—66) — эффективный заменитель антифрикционных материалов. Высокие механические и антифрикционные свойства, простота и общедоступность изготовления, низкая стоимость прессованной древесины (ДП) дают возможность использовать ее в различных областях машиностроения, главным образом, в качестве подшипникового материала.

По предложению кафедры «Детали машин» Днепропетровского химико-технологического института, прессованную древесину марки ДП-0 применяют на горнообогатительных комбинатах для изготовления вкладышей нижних опор классификатора

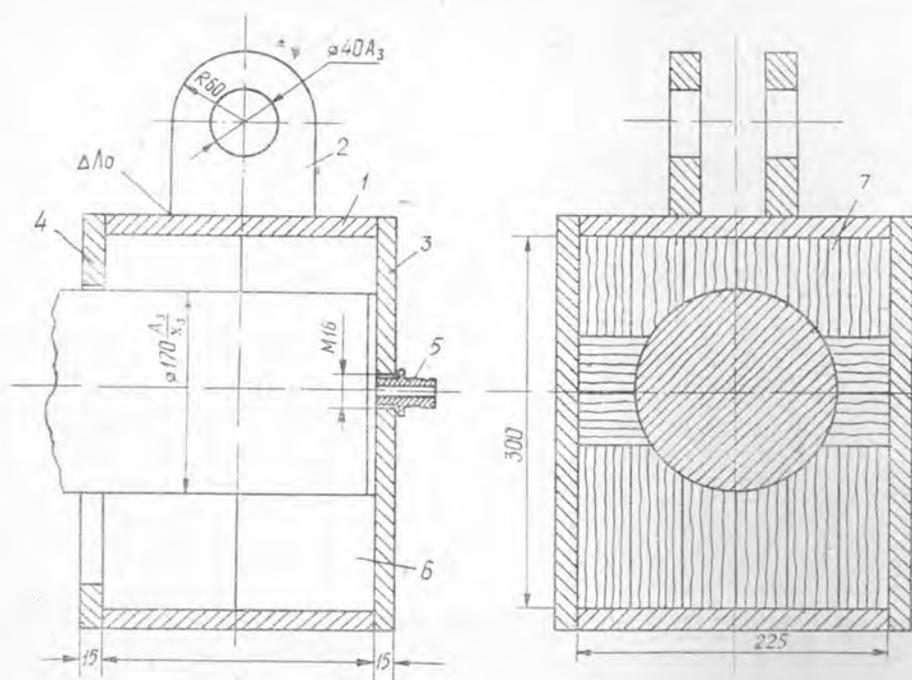


Рис. 1. Нижняя опора классификатора с применением прессованной древесины.

1 — корпус; 2 — проушина; 3 — крышка передняя; 4 — крышка задняя;  
5 — штуцер; 6 — цапфа; 7 — вкладыш из ДП.

(рис. 1) вместо подшипников качения, а также для изготовления вкладышей флотационных машин вместо текстолита. Применение ДП в этих узлах снизило трудоемкость изготовления горнообогатительных машин и увеличило срок службы их, что дело значительный экономический эффект.

Исследованиями установлено, что на скорость и степень разбухания прессованной древесины влияют режим термической обработки до и после прессования, влажность ДП, ее плотность, порода дерева, температура среды, предварительная пропитка ДП минеральными маслами.

Цель проведенной работы — изучить изменение линейных размеров прессованной древесины береста, идущей на изготовление деталей машин. Берест (*Ulmus laevis* Pall.) — одна из распространенных пород, произрастающих на Украине. Древесина его отличается достаточной плотностью, хорошо прессуется, а детали из нее имеют высокие антифрикционные свойства.

При исследовании использовали три партии образцов размерами  $15 \times 15 \times 22$  мм из прессованной древесины береста (марки ДП-0) со степенью прессования 37%. В каждой партии было по 25 образцов. Одну партию выдерживали в воде при температуре  $25^\circ$ , другую — в обезвоженном минеральном масле (марки автол-10) при  $80^\circ\text{C}$ , третью — на воздухе при температуре  $25^\circ\text{C}$ , давлении 760 мм рт. ст. и 70%-ной влажности воздуха. Наблюдения вели до тех пор, пока линейные размеры и вес образцов не перестали изменяться.

Результаты опытов на разбухание в воде приведены на рис. 2, из которого видно, что после 7 суток разбухание практически прекращается. У образцов, находившихся в обезвоженном минеральном масле, линейные размеры не изменяются. Увеличение веса образцов происходит за счет впитывания масла, что дает возможность использовать ДП как самосмазывающийся антифрикционный материал. Кроме того, пропитанная маслом прессованная древесина менее склонна к набуханию при воздействии на нее влажной среды. Образцы из ДП на воздухе хотя и незначительно, но изменяют свои линейные размеры, что объясняется некоторым колебанием влажности воздуха.

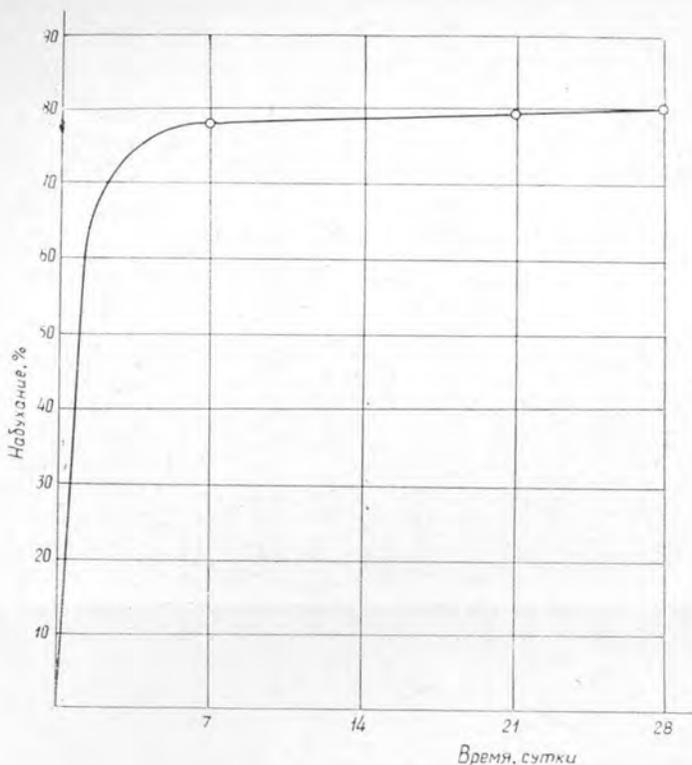


Рис. 2.

При изготовлении подшипников из ДП для обеспечения необходимых посадочных размеров необходимо, чтобы древесина находилась в стесненном (зажатом) состоянии. Учитывая это условие, мы сконструировали нижнюю опору спирали классификатора руды (рис. 1). Вкладыш опоры набран из брусков ДП-0 береста, уложенных в прямоугольный металлический корпус так, что поверхностью трения вкладыша является торцовая поверхность древесины. Бруски находятся в зажатом состоянии, поэтому при работе опоры в водяной среде (пульпе) линейные размеры брусков, а следовательно, и вкладыша практически не изменяются. В них, однако, появляются большие внутренние напряжения.

Эти напряжения являются причиной уменьшения диаметра отверстия для цапфы, что может привести к зажатию цапфы. Чтобы исключить подобное явление, после набора брусков ДП-0 в металлическую обойму и выдержки ее в воде в течение 7 суток (рис. 2) отверстия опоры следует расточить до заданного диаметра с соблюдением необходимого зазора.

Разработанная нами технология была использована в серийном производстве при изготовлении опор классификаторов и других деталей на Днепровском заводе горношахтного оборудования.

УДК 634.0.812

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ДРЕВЕСИНЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД

Н. Ф. БОРИСЕНКО

Московский лесотехнический институт

Выявлены корреляционные связи между физико-механическими показателями и получены уравнения, связывающие средние величины пределов прочности при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон с величиной процента поздней древесины и объемным весом древесины сосны.

Механические свойства конструкционных пиломатериалов зависят от свойств «чистой» древесины, содержания в них пороков и технологии распиловки. Для сортировки пиломатериалов по качеству древесины можно использовать как визуальные, так и машинные методы.

Большое значение приобретает вопрос установления сортов конструкционных пиломатериалов по их жесткости и коррелирующей с ней прочности. Каждый сорт, полученный в результате сортировки, которую называют силовой, или прочностной, очевидно должен характеризоваться определенными физико-механическими показателями: модулем упругости, пределами прочности при различных видах нагрузки (изгибе, растяжении, сжатии и др.).

Изучение корреляции между модулем упругости и пределом прочности при статическом изгибе, а также корреляционных связей между физико-механическими показателями представляет большой интерес, так как расширяет возможности прочностной (силовой) сортировки при оценке прочности пиломатериалов.

С этой целью нами выполнена работа по нахождению корреляционных связей между показателями технических свойств древесины хвойных пород по данным Рукководящих технических материалов (РТМ-62). Учитывая, что показатели физико-механических свойств, включенные в РТМ-62, основаны на целом ряде работ, которые в методическом отношении выполнены на достаточно высоком уровне, и обобщая полученные в табл. 1 и 2 результаты, можно сделать ряд выводов по нескольким породам, в первую очередь по сосне, лиственнице, ели и пихте.

1. Достоверная корреляционная связь между показателями физико-механических свойств наблюдается в том случае, когда рассматривается древесина, характеризующаяся достаточно широко выраженной изменчивостью, отражающей различные условия произрастания и влияние географических факторов. В этой связи для сосны коэффициенты корреляции оказались более высокими, чем для остальных пород.

2. Корреляционная связь между пределом прочности и модулем упругости хвойных пород при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон доказана работами В. А. Баженова, А. Д. Голякова, Ю. С. Соболева как для малых чистых образцов, так и для образцов строительных размеров. Коэффициент корреляции находится в пределах  $0,5 < r < 0,9$ . По данным РТМ-62, корреляционная связь между модулем упругости и пределом прочности при статическом изгибе значительна:

для сосны

$$r = 0,755 \pm 0,115;$$

для лиственницы

$$r = 0,926 \pm 0,0495;$$

для пихты

$$r = 0,838 \pm 0,233.$$

Для ели не удалось установить достоверной связи из-за недостаточного количества данных.

3. Лиственница, пихта и ель представлены в РТМ-62 менее полно, чем сосна, поэтому для этих пород корреляцию удалось найти только между отдельными физико-механическими свойствами. Значительная связь для этих пород наблюдается между

Коэффициенты корреляции между показателями физико-механических свойств  
древесины хвойных пород, полученные по данным РТМ-62

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств	Процент поздней древесины		Плотность			
	Сосна	Пихта	Сосна	Лиственница	Пихта	Ель
Предел прочности при статическом изгибе, кгс/см <sup>2</sup>	0,458 ± 0,168	—	0,840 ± 0,061	—	0,779 ± 0,124	0,551 ± 0,2
Модуль упругости при статическом изгибе, кгс/см <sup>2</sup>	0,401 ± 0,232	—	0,663 ± 0,149	—	0,801 ± 0,118	—
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, кгс/см <sup>2</sup>	0,794 ± 0,079	—	0,850 ± 0,057	0,831 ± 0,085	0,858 ± 0,082	0,407 ± 0,24
Предел прочности при растяжении вдоль волокон, кгс/см <sup>2</sup>	0,475 ± 0,206	—	0,821 ± 0,086	—	0,769 ± 0,16	0,640 ± 0,208
Скалывание вдоль волокон, кгс/см <sup>2</sup> :						
а) по радиальной плоскости	0,616 ± 0,142	0,511 ± 0,26	0,837 ± 0,066	0,621 ± 0,185	0,681 ± 0,19	—
б) по тангенциальной плоскости	0,314 ± 0,206	0,502 ± 0,26	0,611 ± 0,14	—	0,540 ± 0,25	0,634 ± 0,172
Удельная работа при ударном изгибе, кгс/см <sup>2</sup>	0,558 ± 0,157	—	0,643 ± 0,131	—	0,913 ± 0,058	0,437 ± 0,233
Твердость, кгс/см <sup>2</sup> :						
а) торцовая	0,472 ± 0,2	—	0,909 ± 0,043	0,706 ± 0,15	—	0,71 ± 0,165
б) радиальная	0,425 ± 0,289	—	0,907 ± 0,058	—	—	—
в) тангенциальная	0,486 ± 0,27	—	0,94 ± 0,038	—	—	—

## Коэффициенты корреляции между показателями физико-механических свойств древесины хвойных пород

Таблица 2

Показатели физико-механических свойств	Предел прочности при сжатии вдоль волокон, кгс/см <sup>2</sup>	Предел прочности при скалывании вдоль волокон, кгс/см <sup>2</sup>		Твердость, кгс/см <sup>2</sup>		
		радиальном	тангенциальном	торцовая	радиальная	тангенциальная
Сосна						
Предел прочности при статическом изгибе, кгс/см <sup>2</sup>	0,759 ± 0,089	—	—	0,890 ± 0,05	0,787 ± 0,126	0,875 ± 0,07
Лиственница						
	— 0,331 ± 0,25	0,506 ± 0,224	—	0,59 ± 0,197	—	—
Ель						
	— 0,796 ± 0,114	0,427 ± 0,235 0,500 ± 0,265	0,564 ± 0,196 0,412 ± 0,292	0,720 ± 0,16 —	—	—
Сосна						
Модуль упругости при статическом изгибе, кгс/см <sup>2</sup>	0,700 ± 0,136	0,51 ± 0,214	0,515 ± 0,214	0,502 ± 0,237	—	0,51 ± 0,32
Лиственница						
	0,924 ± 0,05	—	—	—	—	—
Пихта						
	0,786 ± 0,132	—	—	—	—	—

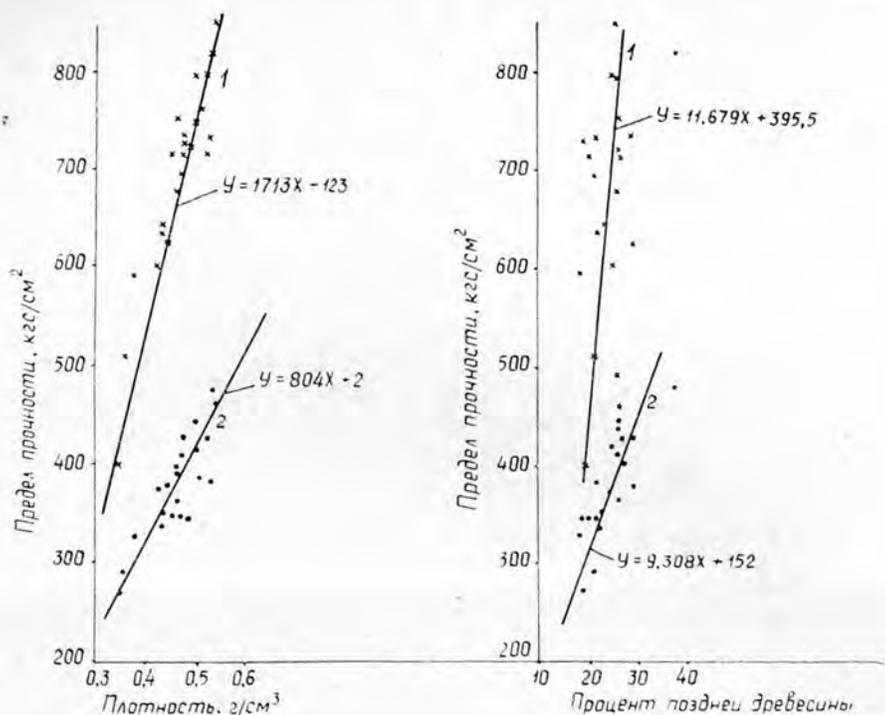


Рис. 1. Зависимость пределов прочности при статическом изгибе 1 и сжатии вдоль волокон 2 от плотности и процента поздней древесины.

прочностью и модулем упругости при статическом изгибе, с одной стороны, и твердостью (радиальной, тангенциальной, торцовой), а также прочностью при сжатии вдоль волокон, с другой стороны (табл. 2).

4. Для древесины сосны линейность связей между пределом прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе и плотностью, а также между пределом прочности и процентом поздней древесины, по данным РТМ-62, подтверждается графиками (рис. 1).

Уравнения связи рассматриваемых признаков получены в следующем виде:

$$\begin{aligned} \sigma_{сж} &= 804\rho_{15} + 2; & m &= \pm 27,707; \\ \sigma_{ст. и} &= 1713\rho_{15} - 123; & m &= \pm 60,98; \\ \sigma_{сж} &= 9,3X + 152,3; & m &= \pm 33,549; \\ \sigma_{ст. и} &= 11,679X + 395,5; & m &= \pm 101, \end{aligned}$$

где  $m$  — средняя ошибка корреляционного уравнения, кгс/см<sup>2</sup>;  
 $\rho_{15}$  — плотность древесины сосны при влажности 15%, г/см<sup>3</sup>;  
 $X$  — процент поздней древесины.

Предлагаемые уравнения связи могут служить для ориентировочного расчета пределов прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе по известным значениям плотности и процента поздней древесины без механических испытаний.

В РТМ-62 физико-механические показатели древесины приведены по районам произрастания. Это вызывает значительное разнообразие свойств, которое отражается на тесноте корреляционных связей.

Установление корреляционных связей древесины, лежащих в основе силовой сортировки, с другими ее свойствами позволит не только получить более полное представление о свойствах древесины, но и использовать данные об испытании малых чистых образцов для изучения древесины с пороками в пиломатериалах.

УДК 674.812

## К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Б. И. КУПЧИНОВ

Институт механики металлополимерных систем АН БССР

Исследована возможность определения геометрических размеров макрокапилляров методами статистических измерений для древесины березы. Полученные зависимости позволяют по известным законам течения жидкости по макрокапиллярам рассчитать некоторые параметры пропитки древесины с торца под давлением.

Исследование движения жидкостей в капиллярно-пористой системе древесины вдоль волокна показывает, что в условиях применения высоких давлений на наполнитель некоторые операции пропитки поддаются математическому описанию. Однако использование известных уравнений связано с определенными трудностями и, в первую очередь, со сложностью определения геометрических размеров капиллярно-пористой системы [5], [7], [9], [10], [11].

Нами была поставлена задача с помощью статистических измерений получить некоторые данные о геометрических размерах и распределении наиболее крупных капилляров по площади сечения применительно к древесине березы.

Как показано в работе [9], для хвойной древесины можно получить удовлетворительные результаты по определению размера полости волокна путем простых подсчетов количества волокон, приходящихся на  $1 \text{ см}^2$  поперечного сечения. В одной из работ [2] приведены данные для расчета объема смоляных ходов некоторых пород древесины в зависимости от ширины годичного слоя.

Подтверждением эффективности практического использования методов математической статистики для определения геометрической характеристики пористости (метод среднего диаметра, веса средней частицы и т. д.) являются работы по математическому описанию движения природных жидкостей и газов в пористой среде применительно к решению разнообразных гидротехнических задач [4].

Капиллярно-пористая система древесины березы обладает хорошей проводимостью, особенно вдоль волокна [5], [6]; при этом все крупные сосуды на поперечном срезе сравнительно равномерно распределены по годичному слою. Как показали наши исследования, в условиях применения высоких давлений на наполнитель при пропитке древесины с торца многие факторы, такие как влажность образца, течение жидкости по микрокапиллярам, сопротивление потоку от прохождения лестничных перфораций между члениками сосудов (вследствие их разрушения уже при давлении 10—15 атм [1], [8]), не оказывают существенного влияния на скорость пропитки.

Исходя из предположения о возможной связи между торцевой твердостью древесины, диаметром и количеством сосудов, приходящихся на единицу площади, нами производился подсчет вышеуказанных величин в зависимости от диаметра ствола, из которого был вырезан образец, и расстояния от центра до зоны.

Исследовали торцевые поверхности образцов, изготовленных из дисков диаметром 90—270 мм в виде середовых брусков  $20 \times 20$  мм. Диски вырезали из разновозрастных краевей без учета условий и места их произрастания. Отбирали не менее пяти образцов каждого диаметра с влажностью  $W = 12 \div 15\%$ . Кроме того, часть образцов изготовляли из комлевой и вершинной частей ствола. Расстояние по радиусу от сердцевины к периферии каждого образца разбивали на 4—5 равных участков, в центре которых определяли торцевую твердость по Бринеллю и измеряли диаметры макрососудов.

Для более точного подсчета средних диаметров макрососудов и их количества с помощью микроскопа МБИ-11 были сделаны фотографии при постоянном увеличении фотографируемого объекта с каждого исследуемого участка.

На рис. 1 приведены микрофотографии поперечного среза образца, вырезанного из диска диаметром 240 мм. На фотографиях хорошо видно изменение радиусов и концентрации сосудов от центра к периферии. Эффективный диаметр сосудов для каждой исследуемой точки образца определяли как сумму средних диаметров каждого макрокапилляра, деленную на их количество. Зная количество сосудов, при-

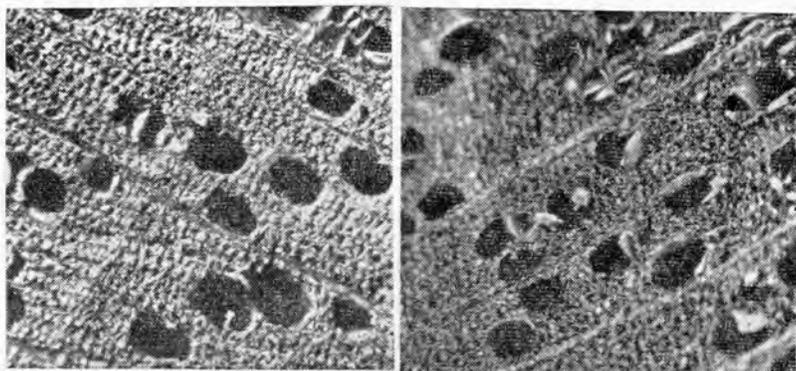


Рис. 1. Микрофотографии поперечного среза образца древесины березы.

а — НБ = 4 кгс/см<sup>2</sup>;  $Z = 20 \div 30$  мм;  $d_{\text{ср}} = 66$  мк;  $N = 6300$  1/см<sup>2</sup>; б — НБ = 5,5 кгс/см<sup>2</sup>;  $Z = 90 \div 100$  мм;  $d_{\text{ср}} = 70,4$  мк;  $N = 4500$  1/см<sup>2</sup>.

ходящихся на единицу площади, и масштаб увеличения, производили пересчет их концентрации на 1 мм<sup>2</sup>.

Результаты экспериментального измерения радиусов капилляров и торцевой твердости в зависимости от диаметра кряжа и расстояния зоны вырезки от центра приведены в табл. 1, из данных которой видно, что с удалением от центра кряжа и увеличением его диаметра эффективный радиус макрокапилляра сначала возрастает, а затем остается постоянным или несколько уменьшается.

Таблица 1

Расстояние от сердцевины, мм	Радиус ствола, мм							
	45		65		90		120	
	НБ, кгс/см <sup>2</sup> ⊙, мк	Количество волокон на 1 см <sup>2</sup>	НБ, кгс/см <sup>2</sup> ⊙, мк	Количество волокон на 1 см <sup>2</sup>	НБ, кгс/см <sup>2</sup> ⊙, мк	Количество волокон на 1 см <sup>2</sup>	НБ, кгс/см <sup>2</sup> ⊙, мк	Количество волокон на 1 см <sup>2</sup>
0—20	2,93 52,2	7300	3,03 51,8	7600	4,47 48,9	10000	3,63 47,4	10500
20—40	3,5 52,8	6700	3,58 51,4	7300	4,86 59,0	6166	3,76 66,3	6300
40—60			4,28 59,7	5133	5,06 59,2	5300	5,46 61,7	5500
60—80					5,7 67,2	4700	5,32 65,2	5166
80—109							5,5 68,4	4466
100—120							5,29 71,6	4333

Анализ наблюдаемых закономерностей показал, что они могут быть описаны уравнением

$$y = ax^b z^c.$$

Обработка результатов (табл. 1) методом наименьших квадратов на ЭВМ «Проминь-2» позволила аппроксимировать экспериментальные зависимости с помощью следующих выражений:

$$d_{\text{эф}} = 0,03 \text{НБ}^{0,17} Z^{0,12} \text{ мм};$$

$$N = 84 \text{НБ}^{-0,5} Z^{-0,2} \text{ 1/мм}^2,$$

где  $d_{3\phi}$  — средний диаметр макрокапилляра, мм;  
 $N$  — количество капилляров, приходящихся на 1 мм<sup>2</sup>;  
 $Z$  — расстояние от центральной части ствола до зоны вырезки образца, мм;  
 $HБ$  — торцевая твердость, кгс/мм<sup>2</sup>.

Контрольное определение погрешностей показало, что коэффициент вариации соответствующих величин не превышает 5%.

Экспериментальную проверку полученных зависимостей производили на приспособлении [3], которое позволяет устранить утечку жидкости по периметру образца и контролировать давление, температуру и расход жидкости. Для исследования была отобрана партия березовых образцов, вырезанных из дисков толщиной 40 мм на расстоянии  $Z = 115$  мм от сердцевины, с торцевой твердостью  $HБ = 5,6$  кгс/мм<sup>2</sup>. Образцы пропитывали вдоль волокна по сечению  $S = 132$  мм<sup>2</sup>. Скорость пропитки определяли по скорости опускания поршня, создающего заданное давление на пропитывающую жидкость.

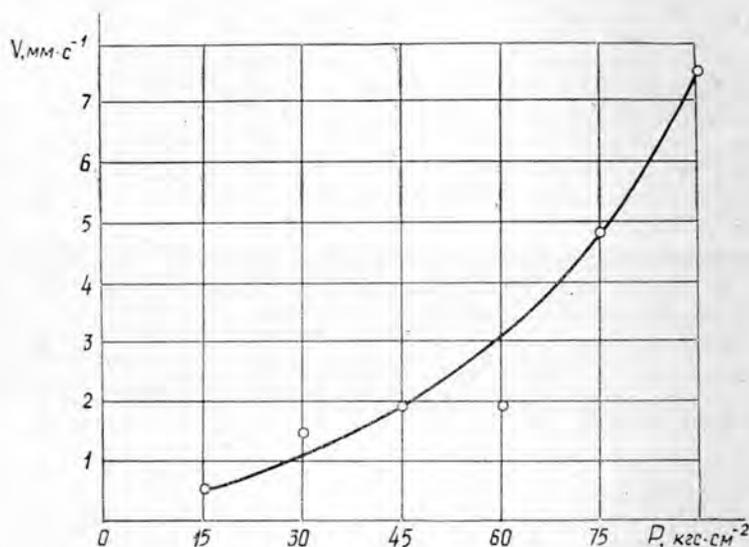


Рис. 2.

На рис. 2 приведена зависимость скорости пропитки древесины маслом МС-20 при  $T = 20^\circ\text{C}$  от величины приложенного давления на жидкость. Из графика следует, что скорость пропитки древесины  $V_q$ , например, при давлении  $P = 90$  кгс/см<sup>2</sup> и длине образца  $l = 40$  мм, составляет 7,5 мм/с, а секундный расход наполнителя  $Q = 17,3$  см<sup>3</sup>/с · 10<sup>-2</sup>.

Для образца с твердостью  $HБ = 5,6$  кгс/мм<sup>2</sup> эффективный диаметр макрокапилляра, вычисленный по предложенной формуле,  $d_{3\phi} = 0,071$  мм, а количество сосудов, приходящихся на сечение пропитки образца,  $N_s = 4345$  1/см<sup>2</sup> · 1,32 см<sup>2</sup> = 5735. Тогда скорость движения жидкости по единичному сосуду древесины

$$V_q = \frac{Q}{N_s \pi r_{3\phi}^2} = \frac{17,3 \cdot 10^{-2} \text{ см/с}}{5735 \cdot (0,035 \text{ см}^2) \cdot 3,14} = 0,76 \text{ см/с.}$$

Сравнение значений скорости пропитки образца древесины под высоким давлением, вычисленной с помощью предложенной формулы и полученной экспериментально, свидетельствует о достаточной точности метода и возможности его практического применения.

Таким образом, установленная зависимость между средним диаметром сосудов, торцевой твердостью, расстоянием от центральной части ствола к периферии и количеством сосудов, приходящихся на единицу площади для древесины березы, позволяет, по известным реологическим свойствам жидкости и законам течения ее по капиллярам, рассчитать некоторые параметры пропитки древесины с торца при высоких давлениях.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вихров В. Е., Синников Н. П. Размещение полимера в древесине березы, модифицированной фенолформальдегидными смолами. — В сб.: Современные проблемы древесиноведения. Минск, 1971. [2]. Иванов М. А., Коссович Н. Л., Малевская С. С., Нагорский И. А., Элиамберг М. Г. Смолянистые вещества древесины и целлюлозы. М., «Лесная промышленность», 1968. [3]. Купчинов Б. И., Белый В. А., Рыженко М. М. Устройство для пропитки и одновременного прессования древесины. Авторское свидетельство № 353842, 1972. [4]. Лейбензон Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. Гостехиздат, 1947. [5]. Оснач Н. А. Проницаемость и проводимость древесины. М., «Лесная промышленность», 1964. [6]. Перельгин Л. М., Уголев Б. Н. Древесиноведение. М., «Лесная промышленность», 1971. [7]. Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М., «Лесная промышленность», 1968. [8]. Харук Е. В. Исследование проницаемости древесины газами и жидкостями. — Тезисы докладов «Современные проблемы древесиноведения». Минск, 1971. [9]. Химия древесины. Т. П. Л.—М., Гослесбумиздат, 1960. [10]. Хунт М., Геррат А. Консервирование древесины. М.—Л., Гослесбумиздат, 1961. [11]. Черненко С. А., Бернат И. А. Облагораживание древесины березы красителями методом торцевой пропитки под давлением. М., ЦНИИТЭИМпром, 1968.

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 634.0.1

## КАК ЖИВЕТ ДЕРЕВО

В 1974 г. книжный фонд страны пополнился рядом капитальных дендрологических работ. Среди них книга А. Д. Тарабрина «Как живет дерево»\*, рассказывающая о жизни дерева, начиная с его зарождения. В книге целно и последовательно освещены основные вопросы морфологии, анатомии, физиологии и экологии древесных растений.

Автор приводит интересные данные, характеризующие роль древесных растений в природе, в жизни человека, и показывает количественную сторону различных физиологических процессов у самих деревьев. В книге сравнительно небольшого объема (9 печ. л.) представлена большая и многоплановая информация. В этом проявилось умение автора четко и кратко излагать сложные вопросы роста и развития растительных организмов.

Введение содержит сведения об объеме потребляемой людьми древесины и о других полезностях леса, приводятся фактические данные, характеризующие производительность лесов и возможность ее регулирования.

В специальной части дается детальное описание внешнего и внутреннего строения дерева и его органов в тесной связи с выполняемыми ими функциями. Доходчиво, на современном научном уровне описано строение клетки и ее органоидов, рост клеток и дифференциация в ткани.

Рассмотрение вопросов о росте и развитии дерева начинается описанием строения семян и всходов, а затем периодов жизнедеятельности, биологии цветения и плодоношения древесных пород.

Значительная часть книги посвящена описанию основных физиологических процессов дерева. Автор кратко, но весьма обстоятельно, представил сложнейшие вопросы жизни растения, в простой и доходчивой форме рассмотрел их взаимообусловленность.

Существование любого организма (в том числе и дерева) немислимо без влияния факторов внешней среды. Автор отдает должное роли среды, постоянно напоминает об этом при рассмотрении строения органов дерева, описании физиологических процессов, а в конце книги посвящает этому вопросу специальный раздел.

Книга легко читается, содержит четкое определение терминов. Она с успехом будет использована как учебное пособие студентами лесохозяйственных, педагогических и сельскохозяйственных вузов и техникумов. Ее можно рекомендовать работникам лесного хозяйства и зеленого строительства, учащимся средних школ и всем любителям природы.

В связи с малым тиражом, вероятно, возникнет необходимость переиздания книги. При этом автору следует учесть следующие замечания: дать более четкое определение органов, образующих гаметы (с. 46); уточнить соотношение между площадью листьев и площадью проекции кроны (с. 76); подробнее описать причины, вызывающие гибель хвойных растений-аборигенов (с. 84) и лиственных экзотов (с. 121).

В свет вышла нужная книга. Доброгo ей пути!

Г. В. Матвеева, Ф. А. Чепик

Ленинградская лесотехническая академия

\* Тарабрина А. Д. Как живет дерево? М., «Лесная промышленность», 1974.

## ЮБИЛЕИ

## ЮБИЛЕИ

профессора Ленинградской лесотехнической академии,  
доктора технических наук

## МИХАИЛА САВЕЛЬЕВИЧА МОВНИНА

5 июня исполнилось 70 лет заведующему кафедрой теории механизмов и машин Ленинградской лесотехнической академии, профессору, доктору технических наук Михаилу Савельевичу Мовнину.

М. С. Мовнин родился в г. Славгороде Могилевской области в семье кустика. В 1928 г. он окончил с отличием Ленинградскую лесотехническую академию и около трех лет работал в Чебоксарах технологом лесопильного завода, а затем заместителем директора деревообрабатывающего завода. В дальнейшем была педагогическая работа в авиашколе и Брасовском лесном техникуме.

В 1932—1936 гг. М. С. Мовнин работал в Московском лесотехническом институте, а затем в Ленинградской лесотехнической академии, где работает вот уже 39 лет и с 1938 г. он заведует кафедрой теории механизмов и машин.

В 1933 г. М. С. Мовнин был утвержден в ученое звание доцента, в 1938 г. после защиты диссертации ему присуждается ученая степень кандидата технических наук, а в 1954 г. он успешно защитил докторскую диссертацию. В 1955 г. М. С. Мовнин был утвержден в ученой степени доктора технических наук, а в 1956 г. — в ученое звание профессора.

Михаил Савельевич — крупный специалист в области теории механизмов и машин, имеет свыше 200 печатных научных трудов и около 40 авторских свидетельств.

Проф. М. С. Мовнин в течение 43 лет ведет большую научно-методическую работу в области высшего лесотехнического образования. В 1936 г. под его руководством при Ленинградской лесотехнической академии был создан научно-методический кабинет Наркомлеса СССР, которым было

издано около 400 работ объемом свыше 5 тыс. печатных листов. Эти работы послужили основой для создания ряда учебников по специальным дисциплинам.

М. С. Мовниным написан ряд учебников по теории механизмов и машин, три учебника по технической механике для разных специальностей и другие крупные работы. Учебники изданы и на английском, латышском, узбекском, армянском и китайском языках.

Под руководством и при непосредственном участии М. С. Мовнина на кафедре теории механизмов и машин успешно выполнено около 90 научно-исследовательских работ по заданиям промышленности. Многие работы внедрены на предприятиях Ленинграда, Риги, Кишинева и др. За создание машины с вакуумным базированием М. С. Мовнин удостоен медали ВДНХ.

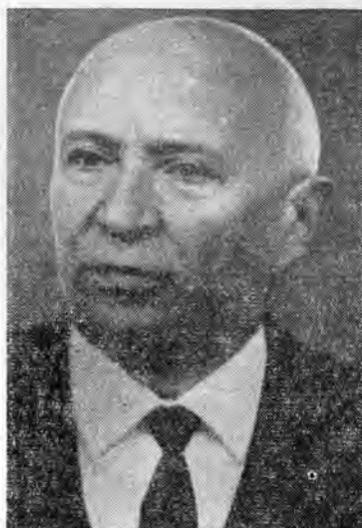
Большую работу проводит М. С. Мовнин в области подготовки научных кадров. Им подготовлено 36 кандидатов наук и 3 доктора наук.

Правительство высоко оценило научный и педагогический труд проф. М. С. Мовнина и наградило его орденом «Знак Почета», пятью медалями и знаками отличника промышленности. М. С. Мовнин — председатель научно-технической комиссии и член ряда научно-технических советов.

Свой 70-летний юбилей профессор М. С. Мовнин встречает в полном расцвете сил и способностей. Пожелаем же нашему дорогому юбиляру многих лет здоровья и счастливой жизни, дальнейшего расцвета его научного таланта и большого личного счастья.

Проф. А. Н. Песоцкий.

Ленинградская лесотехническая академия.



## ЮБИЛЕЙ АКАДЕМИКА АН БССР ПАВЛА ПРОКОФЬЕВИЧА РОГОВОГО

16 июня 1975 г. исполнилось 80 лет со дня рождения и 55 лет научной, педагогической и общественной деятельности одного из ведущих почвоведов Белорусской ССР, заслуженного деятеля науки, академика АН БССР, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Белорусского технологического института Павла Прокофьевича Рогового.

П. П. Роговой родился в 1895 г. в Гомельской губернии в семье крестьянина. После окончания учительской семинарии с 1915 г. П. П. Роговой работал учителем начальной школы в с. Рысково Рогачевского уезда Гомельской губернии. Летом 1918 г. он поступил на сельскохозяйственное отделение Петровской земледельческой (ныне Тимирязевской сельскохозяйственной) академии. Еще будучи студентом Павел Прокофьевич специализируется по почвоведению и агрохимии под руководством Д. Н. Прянишникова, В. Р. Вильямса, А. Н. Соколовского, А. Г. Дояренко и других выдающихся ученых.

В 1923 г. после окончания академии П. П. Роговой начал работать в Минске во вновь открытом Белорусском сельскохозяйственном институте на кафедре почвоведения и ученым секретарем почвенно-геологической комиссии Института Белорусской культуры (Инбелкульты)—предшественника Академии наук БССР.

В 1925 г. П. П. Роговой был переведен в Белорусскую сельскохозяйственную академию в Горках ассистентом кафедры почвоведения.

В 1930 г. в г. Гомеле был создан Белорусский лесотехнический (ныне технологический в г. Минске) институт, где П. П. Роговой в качестве доцента, а позже профессора возглавлял кафедру почвоведения и геологии и бесценно руководил ею до 1973 г.

В 1937 г. в соответствии с законом о водоохранных лесах Павел Прокофьевич организовал и возглавил почвенно-гидрологическую лабораторию в БелНИИЛХе. Результаты исследований опубликованы в монографии «Водный режим почвогрунтов территории БССР».

В 1941 г. Белорусский лесотехнический институт был эвакуирован в Свердловск, где П. П. Роговой в течение трех лет принимал участие в экспедиции по изучению лесов Среднего Урала под руководством акад. В. Н. Сукачева. В 1942 г. им успешно защищена докторская диссертация на тему: «Строение и водный режим почво-грунтов БССР и их роль в почвообразовании и плодородии почв».

После Великой Отечественной войны П. П. Роговой в составе Белорусского лесотехнического института возвратился в г. Минск. Здесь он вел большую научно-исследовательскую работу на базе Негорельского учебно-опытного лесхоза.

В 1947 г. П. П. Рогового избирают членом-корреспондентом, а в 1953 г. — академиком АН БССР. Правительство БССР присвоило ему звание «Заслуженный деятель науки Белорусской ССР».

П. П. Роговым опубликовано более ста научных работ, в том числе учебник по почвоведению в двух изданиях. Павел Прокофьевич большой педагог, отдающий много сил и энергии воспитанию специалистов лесного хозяйства, подготовке молодых ученых почвоведов, многие из которых стали кандидатами наук.

Плодотворная научная, педагогическая и общественная деятельность П. П. Рогового высоко оценена Правительством. Он награжден орденом Ленина, двумя орденами «Знак почета», медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.», «Почетными грамотами» Президиума Верховного Совета Белорусской ССР.

Пожелаем нашему дорогому юбиляру крепкого здоровья, долгих лет жизни и дальнейших творческих успехов в труде!

Белорусский технологический институт  
К. Л. Забелло.



## НИКОЛАЙ ИГНАТЬЕВИЧ НИКИТИН

1890—1975

22 января 1975 г. на 85-м году жизни скоропостижно скончался член-корреспондент АН СССР, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор, доктор технических наук Николай Игнатьевич Никитин.

В 1914 г. Николай Игнатьевич окончил Петербургский лесной институт (ныне Ленинградская лесотехническая академия) и его деятельность как ученого на протяжении многих лет была тесно связана с этим старейшим и крупнейшим лесным вузом нашей страны. В первые годы своей практической деятельности Н. И. Никитин работал, главным образом, над вопросами физической и общей химии.

В 1925 г. он создал в лесотехнической академии первую в нашей стране кафедру химии древесины и целлюлозы, заведующим которой был непрерывно в течение 35 лет. В 1929 г. Н. И. Никитину было присвоено звание профессора, в 1937 г. — ученая степень доктора технических наук, а в 1939 г. он был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР.

Профессор Н. И. Никитин всю свою жизнь и огромный талант ученого посвятил исследованиям в области химии древесины и целлюлозы, и его имя широко известно в научном мире.

Блестящий талант лектора, широкие на ученые интересы и огромное личное обаяние привлекали студентов, аспирантов и научных работников на лекции Н. И. Никитина. Большая группа учеников его лаборатории успешно защитила кандидатские и докторские диссертации.

В довоенный период проф. Н. И. Никитин со своими сотрудниками плодотворно работал над изучением явлений набухания и растворения целлюлозы в различных растворителях, методов получения простых и сложных эфиров целлюлозы, реакций деградации целлюлозы под действием различных реагентов и т. д. Особенно большим вкладом в науку и технологию явились исследования Н. И. Никитина о составе и свойствах обгазированных древесных целлюлоз как сырья для производства вискозного волокна. В этот период вышли семь книг Николая Игнатьевича по вопросам химии древесины и среди них двумя изданиями фундаментальная монография «Коллоидные растворы и эфиры целлюлозы», удостоенная премии Комитета по химизации.

В период Великой Отечественной войны, в тяжелых условиях эвакуации, чл.-корр. АН СССР Н. И. Никитин продолжал научную и педагогическую работу в Уральском лесотехническом институте, активно участвуя в работах Комитета по мобилизации



природных ресурсов СССР и руководя исследованиями по химии лигнина в Уральском филиале АН СССР.

В послевоенный период, продолжая научно-педагогическую работу в Ленинградской лесотехнической академии, проф. Н. И. Никитин организовал новую лабораторию по химии древесины в Институте леса АН СССР, переведенную в 1959 г. в Институт высокомолекулярных соединений АН СССР.

Наиболее важные исследования проф. Н. И. Никитина в послевоенный период касались получения низкозамещенных эфиров целлюлозы, изучения методов повышения реакционной способности целлюлозы, исследования полидисперсности древесных целлюлоз и их надмолекулярной структуры, изучения свойств некоторых препаратов лигнина и практического использования их производных. Проф. Н. И. Никитиным были проведены обширные и систематические исследования древесины лиственницы сибирской и даурской, изучены возможности ее практического использования для получения сульфатной и сульфитной целлюлозы, а также различных продуктов на основе ее арабогалактана.

В 1951 и 1962 гг. были изданы две капитальные монографии Н. И. Никитина — «Химия древесины» и «Химия древесины и целлюлозы», являющиеся настольными пособиями каждого исследователя, инженера, студента. В этих книгах нашли отражение результаты многолетних трудов автора в различных областях химии целлюлозы и древесины.

Вся жизнь Николая Игнатьевича Никитина, большого друга молодежи, сердечного и доброжелательного человека, являла собой великолепный пример беззаветного служения любимой науке и своему народу. Всеобщее признание получили его талантливо написанные популярно-биографические очерки «На пути научного работника-химика», вышедшие вторым изданием в 1969 г.

Научная, педагогическая и общественная деятельность профессора Н. И. Никитина получила высокую оценку партии и правительства: он награжден двумя орденами Ленина, Орденом Трудового Красного Знамени и медалями.

Все, знавшие Николая Игнатьевича Никитина, его ученики и коллеги сохраняют вечную память о нем.

**И. С. Хуторщиков,  
М. М. Чочиева.**

Ленинградская лесотехническая академия

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

П. С. Нартов, П. И. Жидких. Исследование нагрузок, действующих на лесной дисковый культиватор . . . . .	3
В. Г. Верченко. Применение фенологических разновидностей дуба черешчатого для овражно-балочных насаждений . . . . .	7
В. И. Бирюков, В. А. Мазур. Культуры сосны Муррея в Центральной лесостепи . . . . .	11
Д. Д. Лавриненко. Специфика роста чистых сосновых насаждений, подвергшихся повреждению корневой губкой . . . . .	13
А. К. Миняйло, В. А. Миняйло. Об attractiveness самок чехликовой моли <i>Coleophora sibirica</i> Falk . . . . .	16
Т. С. Момот, А. А. Яценко-Хмелевский. Изолированная культура корневых тканей березы пушистой ( <i>Betula pubescens</i> Ehrh.) . . . . .	19
В. Д. Чернышев. Интенсивность фотосинтеза и транспирации некоторых древесных пород Приморья . . . . .	21
А. В. Поляков, Ю. Н. Савич. К исчислению текущего прироста и запаса отпада в насаждении . . . . .	25

### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

В. В. Андронов, А. Г. Пилюттик. О несвободном падении бревна с роликового транспортера . . . . .	30
А. В. Жуков, К. Б. Абрамович, А. И. Смяян, В. К. Хегай. Экспериментальное исследование ударных нагрузок при падении деревьев . . . . .	33
Г. И. Шараев, В. Н. Худоногов. Исследование наплавных конструкций лесозадерживающих сооружений на устойчивость . . . . .	37
В. Я. Харитонов. Взаимодействие бревен в поперечной щети . . . . .	43
П. А. Меркуров. К расчету коэффициентов при переходе от веса и запаса плавучести пучка леса к его объему . . . . .	48
С. Г. Костогрыз, И. П. Ковтун. Вероятностный анализ препятствий движению лесотранспорта в условиях лесосек . . . . .	52
Н. Н. Буторин. Вертикальные перемещения колеса при проходе стыка . . . . .	57
И. Б. Потаповский, А. К. Гороховский. О нецелесообразности регулирования мощности конденсаторных установок по реактивному току на предприятиях лесной промышленности . . . . .	61

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

А. Б. Израелит. К вопросу о сортаменте гнутоклееных профилей из шпона . . . . .	64
Ю. М. Зельдин, А. Д. Лазарева. Исследование усушки и разбухания лигноуглеводных древесных пластиков в лабораторных и натуральных условиях . . . . .	70
И. И. Сидоров. Распиловка двухкантных брусьев параллельно образующей . . . . .	76
В. В. Гамов. Сравнительные исследования древесины при растяжении поперек волокон . . . . .	81
Л. Л. Кротова. О состоянии влаги в мерзлой древесине . . . . .	83
М. П. Горенькова. Влияние прозрачного покрытия на изменение цвета древесины . . . . .	86
Ю. А. Барашков. Клеевые деревянные конструкции в сетчатых куполах . . . . .	90

### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

В. А. Федоров, В. Н. Пилякин, А. К. Славянский. Изменение электропроводности древесины при термообработке . . . . .	93
Р. З. Пен, Л. Г. Хаустова, Г. М. Иоффе, И. И. Сидорова. О подобии статистических моделей процесса сульфатной варки . . . . .	97
Ю. А. Малков. Анализ полисульфидных варочных растворов . . . . .	100

Г. Ф. Прокшин, К. Г. Боголицын. Изменение оптической плотности и УФ-спектров щелоков при сульфитной варке диоксанлигнина, холоцеллюлозы и еловой древесины . . . . .	104
В. М. Зайцев, Ю. П. Сырников, Г. Н. Шульман. Исследование оптического вращения растворов целлюлозы с различной средней степенью полимеризации . . . . .	107
В. Н. Твердохлебова, Э. Д. Левин. Состав надсмольной воды, получаемой при двухстадийном пиролизе отходов древесины лиственницы сибирской . . . . .	110
<b>В. А. Шишкин, Ю. Л. Юрьев.</b> Каталитический крекинг суммарных масел отстойной смолы от пиролиза гидролизного лигнина . . . . .	113
А. Е. Соснин, Л. А. Малютина. Извлечение канифоли из осмольной щепы с применением механического отжима растворителя . . . . .	116
В. П. Чернокрылов, И. Д. Кугушев, О. А. Терентьев. Экспериментальное исследование процесса формирования и обезжизивания полотна между двумя сетками . . . . .	120

#### КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Т. М. Шкиря. Математическое описание модели гидравлического древокольного станка с учетом упругости муфты и трубопровода . . . . .	123
Г. Ф. Козориз. Аналитическое определение основных параметров работы транспортной установки универсальных пневмотранспортных систем с плавно регулируемой производительностью . . . . .	126
Ю. А. Седов. Одна задача оптимизации погрузочных работ на нижнем складе . . . . .	131

#### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

А. Д. Янушко, Б. Н. Желиба, В. П. Кобринец. Анализ интенсивности лесного хозяйства с использованием методов математической статистики . . . . .	135
Л. М. Михеева. Структура и предпосылки решения задач лесного хозяйства с помощью современных экономико-математических методов . . . . .	140
Ю. В. Маркин. Некоторые вопросы дальнейшего совершенствования управления в лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности (на примере Коми АССР) . . . . .	144

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

В. И. Обыденников. Сезонный рост подростка лиственницы даурской в связи с природой вырубок западных склонов Бурейского хребта . . . . .	150
Б. Б. Зейде. Кольцевые пробные площади и структура древостоев . . . . .	153
С. А. Ворухайлов. Продольная деформация грунта при повороте гусеничных машин . . . . .	155
И. И. Леена, В. И. Коваль, Ю. А. Сидоренко, А. Ф. Трушкин. О разбухании прессованной древесины, применяемой в горных машинах . . . . .	158
Н. Ф. Борисенко. Исследование корреляционных связей между физико-механическими показателями древесины хвойных пород . . . . .	161
Б. И. Купчинов. К вопросу расчета параметров пропитки древесины . . . . .	165

#### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Г. В. Матвеева, Ф. А. Чепик. Как живет дерево . . . . .	169
---	-----

#### ЮБИЛЕИ

А. Н. Песоцкий. Юбилей профессора Ленинградской лесотехнической академии, доктора технических наук Михаила Савельевича Мовнина . . . . .	170
К. Л. Забелло. Юбилей академика АН БССР Павла Прокофьевича Рогового . . . . .	171

#### НЕКРОЛОГ

И. С. Хуторщиков, М. М. Чочиева, <b>Николай Игнатьевич Никитин</b> . . . . .	172
--	-----

## CONTENTS

### THE FORESTRY

<i>P. S. Nartov</i> . Investigation of loads acting upon forest disk cultivator . . . . .	3
<i>V. G. Verchenko</i> . The use of phenological varieties of <i>Quercus robur</i> L. for ravine planting . . . . .	7
<i>V. I. Biryukov, V. A. Mazur</i> . Cultivation of <i>Pinus Murrayana</i> Balf. in partially — wooded central steppe districts . . . . .	11
<i>D. D. Lavrinenko</i> . Specificity of the growth of the pure pine stands damaged by the fomitopsis <i>annosa</i> . . . . .	13
<i>A. K. Minyailo, V. A. Minyailo</i> . Attractiveness of larch casebearer <i>Coleophora sibirica</i> Falk. ( <i>Lepidoptera, Coleophoridae</i> ) females for males . . . . .	16
<i>T. S. Momot, A. A. Jazenko-Hmelevski</i> . Culture in vitro of the root tissues of <i>Betula pubescens</i> Ehrh. . . . .	19
<i>V. D. Chernyshev</i> . Intensity of photosynthesis and transpiration of some species of trees in Prymorye territory . . . . .	21
<i>A. V. Polyakov, Ju. N. Savich</i> . Some problems of current volume increment and dead wood stock calculations in forest stands . . . . .	25

### THE FOREST EXPLOATATION

<i>V. V. Andronov, A. G. Pilutik</i> . On the non-free falling of the log from the roller conveyer . . . . .	30
<i>A. V. Zhukov, K. B. Abramovich, A. I. Smeyan, V. K. Hagay</i> . Experimental research of stroke loads when the tree is falling . . . . .	33
<i>G. I. Sharaev, V. N. Hudonogov</i> . Stability investigation of floating timber collecting constructions . . . . .	37
<i>V. J. Haritonov</i> . Interaction of logs in cross rane of water . . . . .	43
<i>P. A. Merkurov</i> . On the calculation of the transfer coefficients used in transferring from the weight of the bundle of logs to its volume and from the buoyancy factor of the bundle to its volume . . . . .	48
<i>S. G. Kostogris, I. P. Kovtun</i> . Probability analysis of obstacles for timber-transport movement in the conditions of wood-cutting areas . . . . .	52
<i>N. N. Butorin</i> . Vertikal travel of the wheel when crossing the joint . . . . .	57
<i>I. B. Potapovski, A. K. Gorohovski</i> . The purposeless regulation of power of the capacitor plants on the reactive current at the forest industry enterprises . . . . .	61

### MACHINING WOODWORKING AND WOODSCIENCE

<i>A. B. Izraelit</i> . On the problem on plywood profiles . . . . .	64
<i>Ju. M. Zeldin, A. D. Lazareva</i> . Shrinkage and swelling investigations of lignocarbhydrate wood plastics in the laboratory and natural conditions . . . . .	70
<i>I. I. Sidorov</i> . Cutting cants in parallels to the forming line . . . . .	76
<i>V. V. Gamov</i> . Comparative investigation of wood under the cross-fibre tension . . . . .	81
<i>L. L. Krotova</i> . On moisture conditionin frozen wood . . . . .	83
<i>M. P. Gorënkov</i> . Influence of transparent coating upon wood colour change . . . . .	86
<i>Ju. A. Barashkov</i> . Glued wooden constructions in net domes . . . . .	90

### CHEMICAL WOODWORKING

<i>V. A. Fedorov, V. N. Piyalkin, A. K. Slavyanski</i> . Wood electroconductivity changes at heat treatment . . . . .	93
<i>R. Z. Pen, L. G. Haustova, G. M. Ioffe, I. I. Sidorova</i> . On similarity of statistical models of sulphate cooking process . . . . .	97
<i>Ju. A. Malkov</i> . Analysis of polysulfide cooking liquors . . . . .	100

<i>G. F. Prokshin, K. G. Bogolizin.</i> Changes of optical density and ultraviolet spectrums of alkaline solutions at sulphate cooking of dioxanlignin, holo-cellulose and fir-wood . . . . .	104
<i>V. M. Zaizev, Ju. P. Sirkov, G. N. Shulman.</i> The investigation of the optical rotation of cellulose solutions with different degree of polymerization . . . . .	107
<i>V. N. Tverdochlebova, E. D. Levin.</i> The composition of the over water (pyrogenetic) got during the two stage pyrolysis of the wastes of the siberian larch wood . . . . .	110

<b>V. A. Shishkin, Ju. L. Juriev.</b> Catalytic cracking of summary oils of sedimentary resin from pyrolysis of hydrolysis lignin . . . . .	113
<i>A. E. Sosnin, L. A. Maljutina.</i> Colophony extractions from resinified chip with mechanical wringing of dissolvent . . . . .	116
<i>V. P. Chernokrilov, I. D. Kugushev, O. A. Terentiev.</i> Experimental researches of moulding and dehydration processes of linen between two nets . . . . .	120

*COMPOSITE MECHANIZATION  
AND AUTOMATION PROCESSES OF PRODUKTION*

<i>T. M. Shkiriya.</i> Mathematical description of the hydraulic wood cleaving machine model with provision for elasticity of the coupling and pipelines . . . . .	123
<i>G. F. Kozoriz.</i> Analytical definition of the transport installation work main parametres of universal pneumatic transport system in smooth control production . . . . .	126
<i>Ju. A. Sedov.</i> One of the optimization problems of loading at the landings . . . . .	131

*ECONOMICS AND ORGANISATION OF THE PRODUCTION*

<i>A. D. Janushko, B. N. Zheliba, V. P. Kobrinez.</i> Analysis of forestry intensivity using mathematical statistics methods . . . . .	135
<i>L. M. Miheeva.</i> Structure and prerequisites for solving the problems of forestry with the help of modern economic and mathematical methods . . . . .	140
<i>Ju. V. Markin.</i> Some questions of further improvement of management in forest, wood processing and pulp and paper industry (Komy ASSR example) . . . . .	144

*SCHORT REPORTS AND EXCHANGE BY EXPERIENCE*

<i>V. I. Obidennikov.</i> Seasonal growth of larix dahurica undergrowth as a result of the nature of cuttings on the western slopes of Bureinsky mountain range. . . . .	150
<i>B. B. Zeide.</i> Circular test areas a structures of stands . . . . .	153
<i>S. A. Voruhailov.</i> Longitudinal deformation of soil when the crawler machine turns . . . . .	155
<i>I. I. Leyepa, V. I. Koval, Ju. A. Sidorenko, A. F. Trushkin.</i> On swelling pressed wood applied in mining machines . . . . .	158
<i>N. F. Borisenko.</i> Some studies of certain correlation between the physical and mechanical properties in the wood of conifers . . . . .	161
<i>B. I. Kupchinov.</i> On calculation the parameters relating to wood impregnation . . . . .	165

*CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY*

<i>G. V. Matveeva, F. A. Chepik.</i> How a tree lives . . . . .	169
---	-----

*JUBILLEES*

<i>A. N. Pesotski.</i> Prof. M. S. Movnin's jubilee. Leningrad forest-engineering academy. Dc. Sc. professor . . . . .	170
<i>K. L. Zabello.</i> Acad. P. P. Rogovoy's jubilee. Academy of sciences. Byelorussia . . . . .	171

*NECROLOGU*

<i>M. S. Hutorschikov, M. M. Chochieva.</i> <b>N. I. Nikitin</b> . . . . .	172
--	-----

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Рукописи статей принимаются редакцией по рекомендации соответствующих кафедр высших учебных заведений.

Статьи, представляемые в журнал, не должны превышать 6—7 страниц машинописного текста. Статьи, превышающие указанный объем, к рассмотрению не принимаются. Статьи библиографического характера должны быть не более 3 страниц. В заглавии статьи указываются ее название, инициалы и фамилия автора (или авторов) на русском и английском языках 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*, *u* 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

наименование можно давать только сокращенно.

При ссылке в тексте статьи на работы других авторов следует в скобках указывать фамилию автора и год издания его работы. Упоминания имен иностранных авторов даются в русской транскрипции, ссылки на иностранные работы — на том языке, на котором они опубликованы. В случае приведения цитаты необходимо указать, откуда она взята (автор, название работы или номер тома, год издания, страницы).

Список литературы должен содержать лишь цитируемые в тексте статьи работы и, наоборот, все упоминаемые в тексте работы должны быть помещены в списке литературы. В списке указываются фамилия и инициалы автора, название работы, журнал, в котором она опубликована (для книг — место издания и издательство), год издания, № журнала. Название журнала, в котором опубликована упоминаемая в списке литературы работа, дается полностью. Ссылка на неопубликованные работы не допускается.

Рукопись должна быть тщательно выверена, подписана автором и иметь визу руководителя кафедры; должны быть написаны дата отправки рукописи, полное имя и отчество автора, его ученое звание и степень, а также служебный и домашний почтовые адреса и номера телефонов.

Иллюстрации представляются в двух экземплярах. Они должны быть пригодны для цинкографического воспроизведения (фотографии должны быть четкими, чертежи необходимо делать черной тушью пером на ватмане, тени на рисунках — при помощи точек или штрихов). На обратной стороне рисунка должны быть указаны его порядковый номер, соответствующий номеру в списке, и фамилия автора. Подписи к рисункам должны быть приложены на отдельном листе, перепечатанными на машинке.

К статье должны быть приложены краткий реферат и аннотация.

Редакция может возвращать авторам неопубликованные статьи с требованием изложения и более аккурат-

ной работы. Автор имеет право производить со-  
акционные изменения руко-  
ура статей авторам, как  
доставляется.

ают бесплатно 10 отти-  
в (за исключением публи-  
блиографии и хроник).

**ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ  
обозначенного здесь срока**

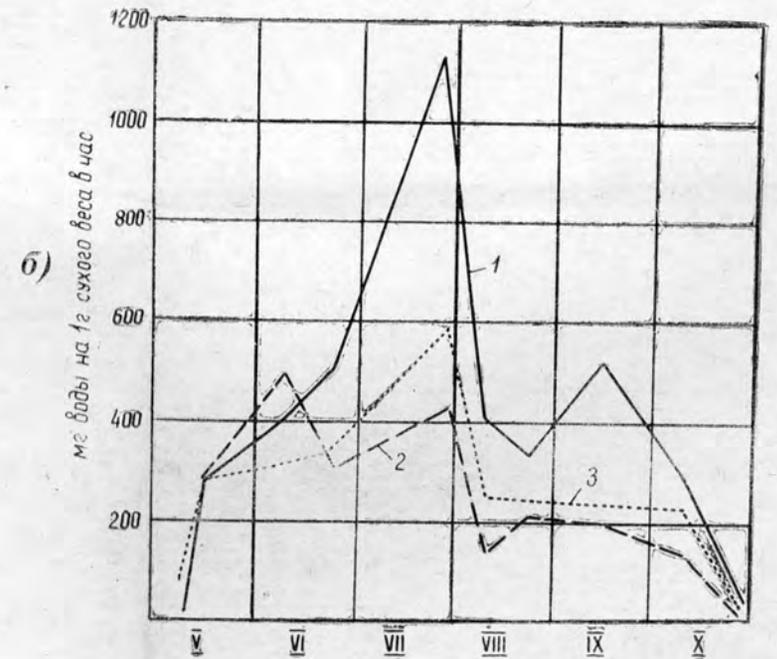
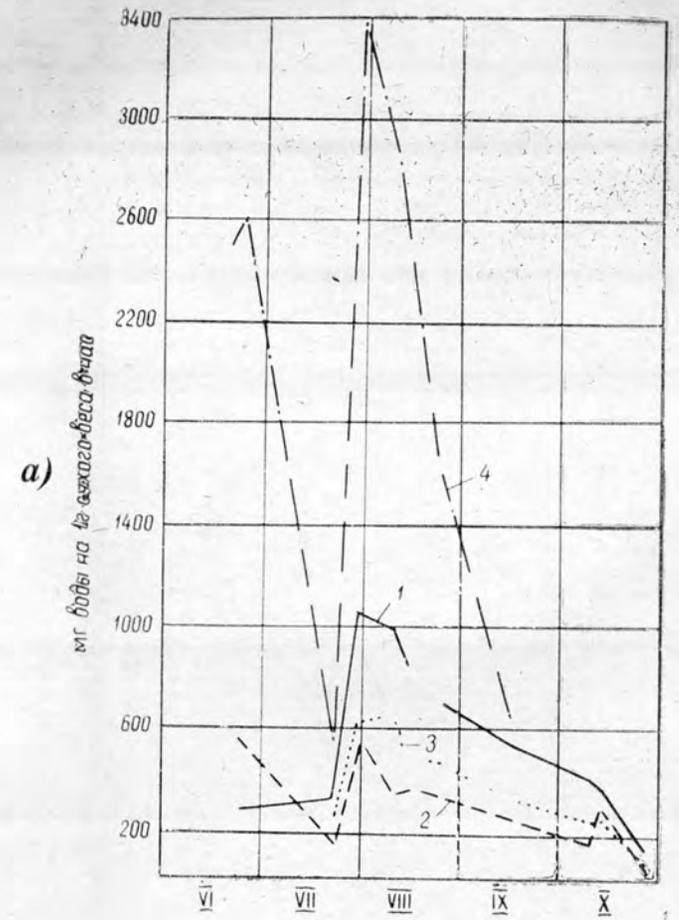
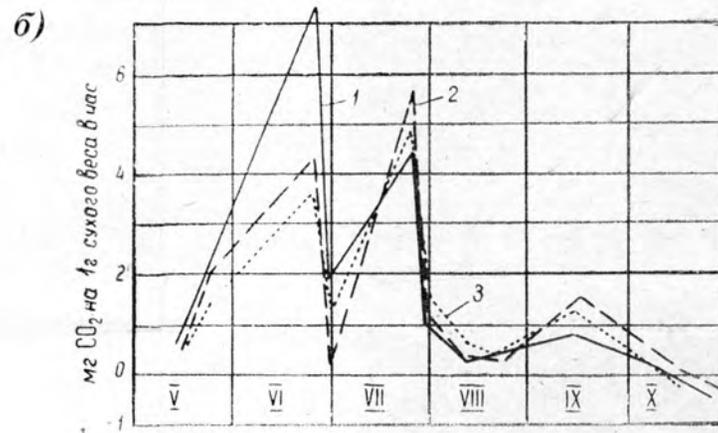
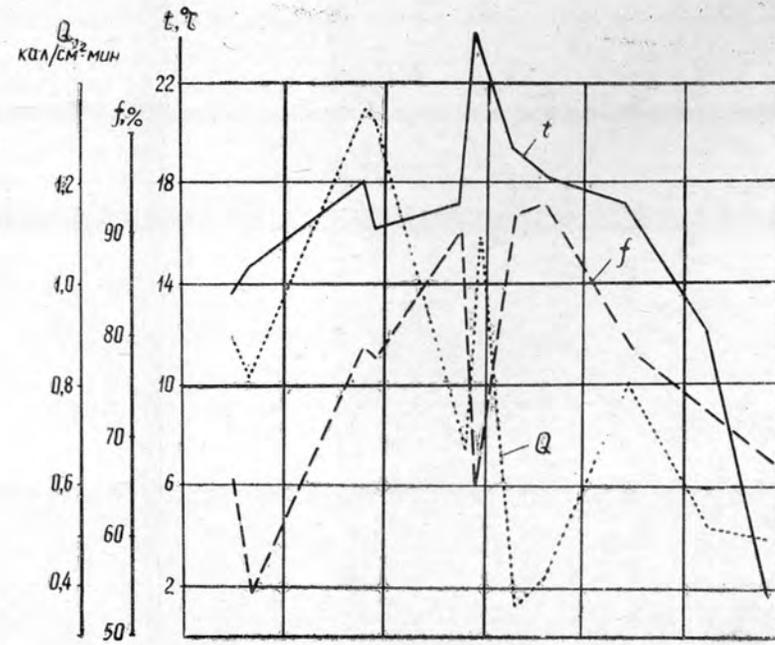
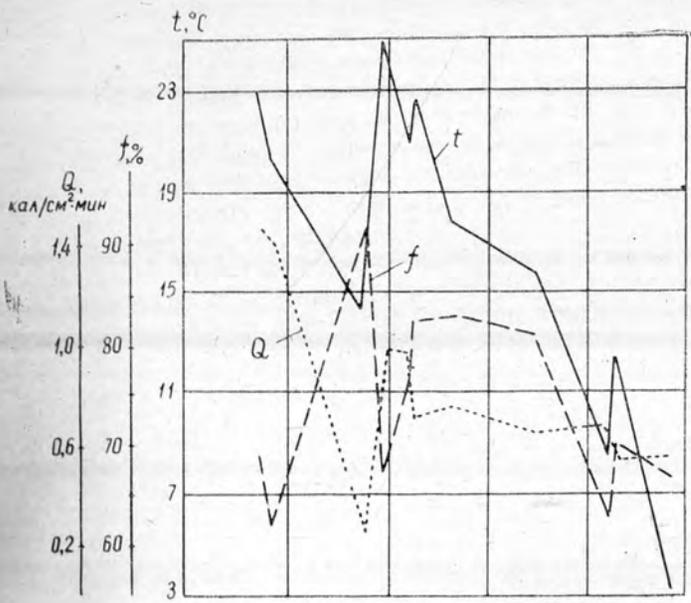



Рис. 1. Динамика средней интенсивности фотосинтеза и дыхания хвои первого года и листьев (а) и хвои второго года (б) у подростка и тонкомера древесных пород в зависимости от суммарной радиации  $Q$ , температуры  $t$  и влажности воздуха  $f$ .

1 — кедр корейский; 2 — ель аянская; 3 — пихта белокорая; 4 — ясень маньчжурский.

Рис. 2. Динамика средней интенсивности транспирации хвои первого года и листьев (а) и хвои второго года (б) подростка. Обозначения те же.

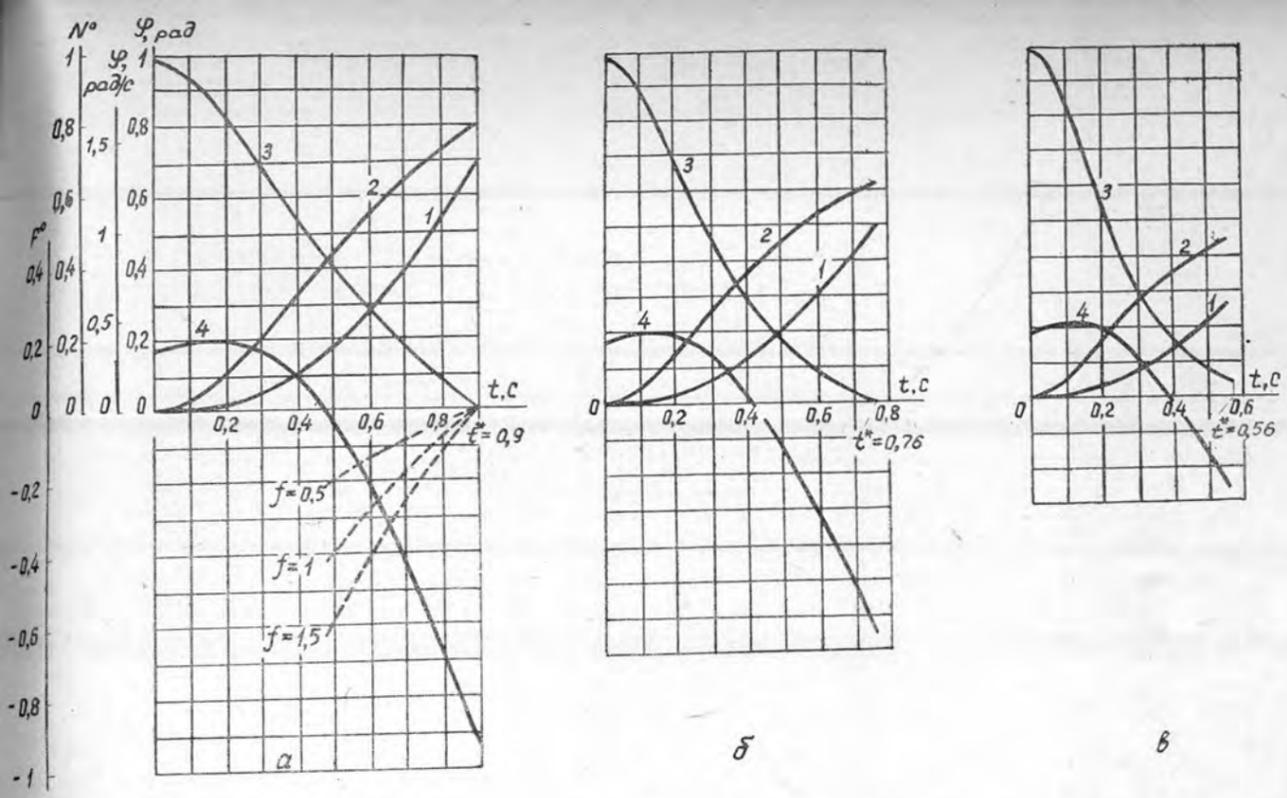


Рис. 1. Зависимость угла поворота (1), угловой скорости (2) и отнесенных к весу бревна (удельных) нормальной реакции  $N^0$  (3) и силы трения  $F^0$  (4) ролика от времени;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $r = 0,2$  м;  $2l = 4,5$  м.  
 а -  $r_1, \omega_1 = 2$  м/с; б -  $3$  м/с; в -  $4$  м/с.

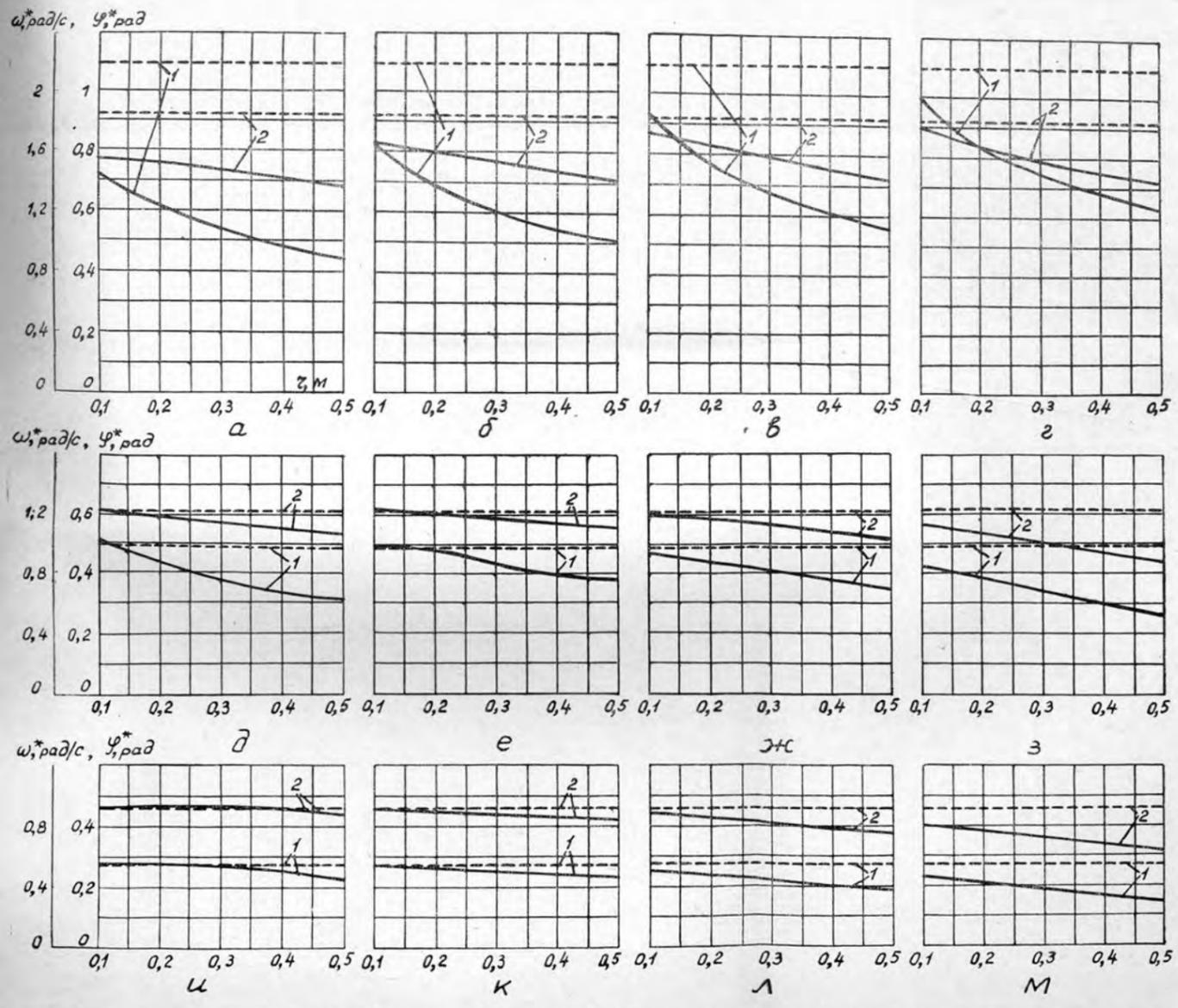


Рис. 3. Зависимость угла поворота (1) и угловой скорости (2) бревна в момент схода с транспортера от радиуса при различных значениях скорости ролика и угла наклона транспортера;  $2l = 4,5$  м.

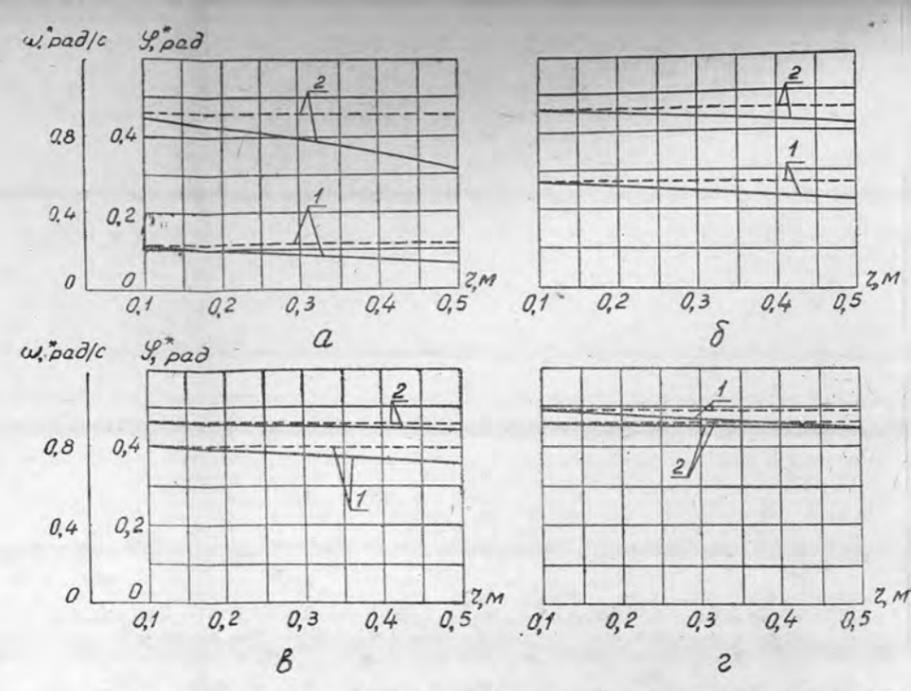


Рис. 2. Зависимость угла поворота (1) и угловой скорости (2) бревна в момент схода с транспортера от радиуса бревна при различных значениях его длины;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $r_1, \omega_1 = 4$  м/с.  
 а -  $2l = 2$  м; б -  $4,5$  м; в -  $6,5$  м; г -  $8$  м.

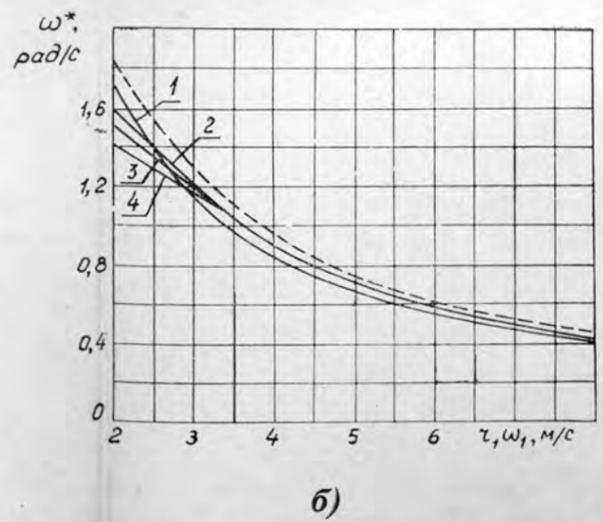
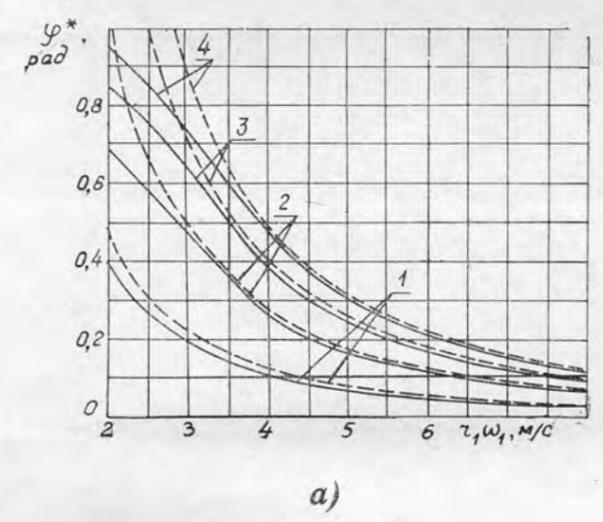


Рис. 4. Зависимость угла поворота (а) и угловой скорости (б) бревна в момент схода с транспортера от скорости ролика при различных значениях длины бревна;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $r = 0,2$  м.  
 1 -  $2$  м; 2 -  $4,5$  м; 3 -  $6,5$  м; 4 -  $8$  м.

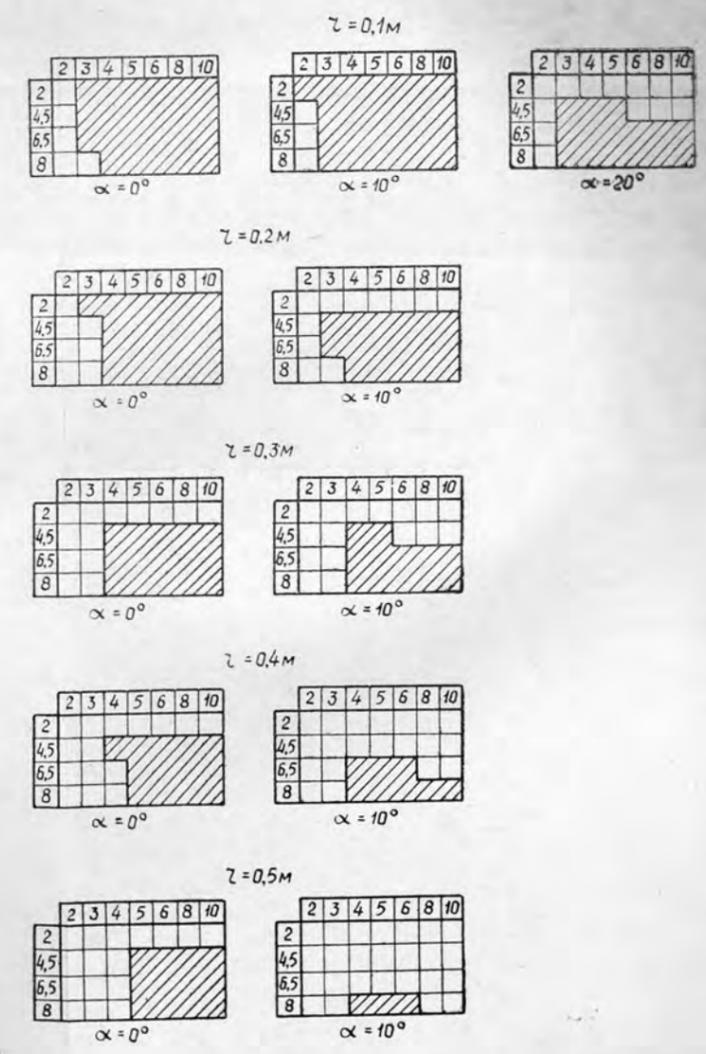


Рис. 5. Области 10%-ной точности приближенного решения уравнения (1).

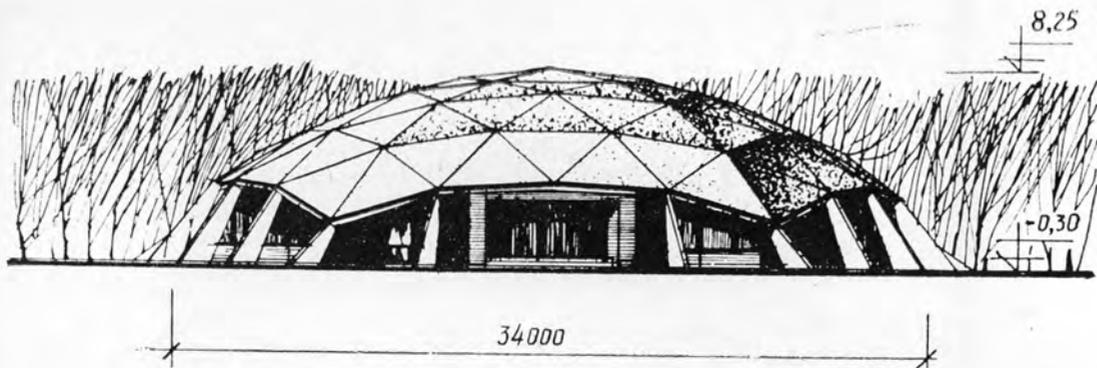


Рис. 1. Выставочный зал в г. Архангельске (проектное предложение).

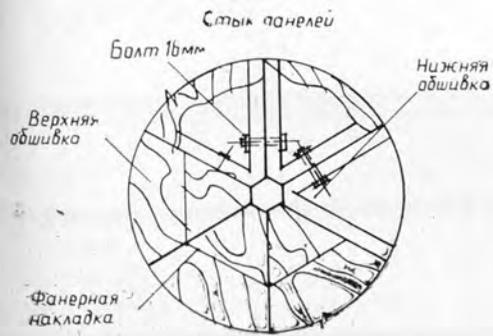
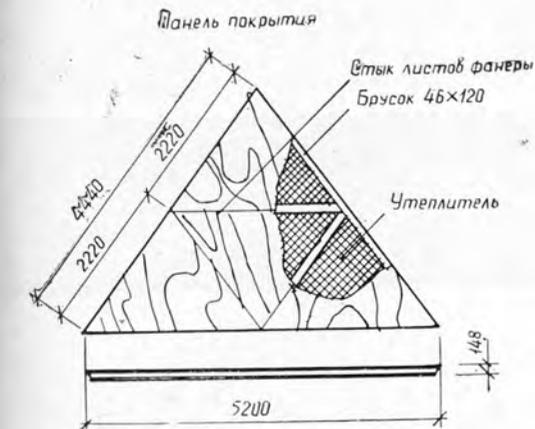


Рис. 2. Клефанерная треугольная плоская панель покрытия.

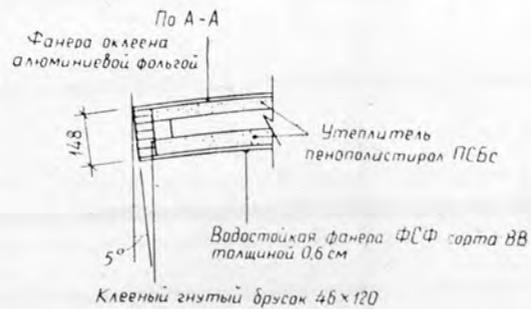
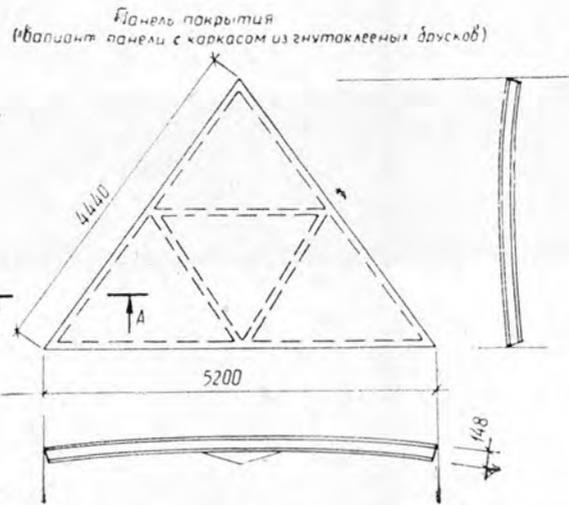


Рис. 3. Клефанерная треугольная выпуклая панель покрытия.

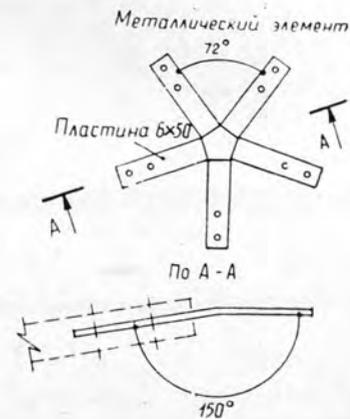
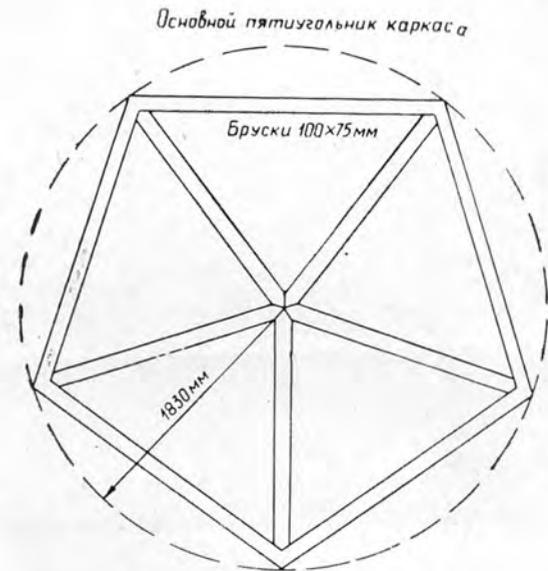


Рис. 4. Мобильный жилой дом-купол

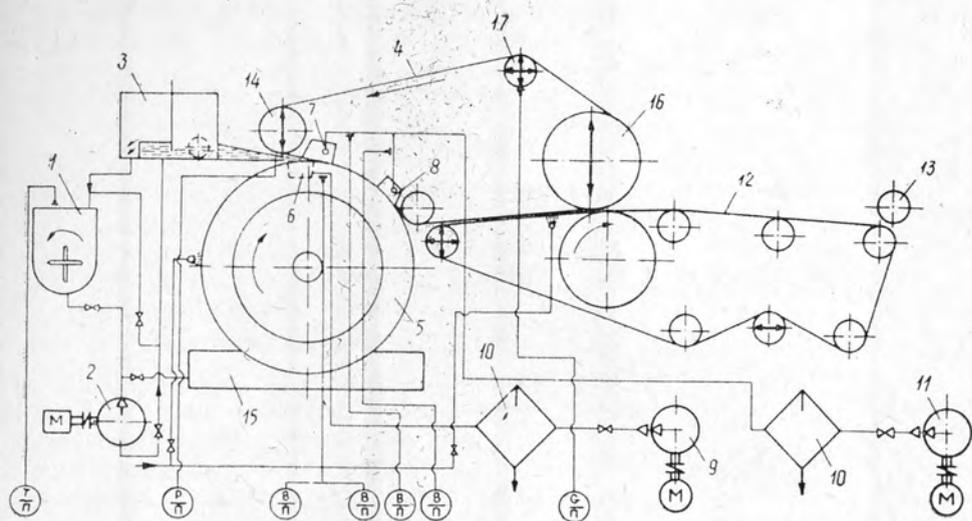


Рис. 1. Схема экспериментальной установки двухсеточного формования.

1 — мешалка; 2 — массный насос; 3 — напорный ящик; 4 — верхняя сетка; 5 — формирующий цилиндр; 6 — отсасывающая камера; 7 — верхний отсасывающий ящик; 8 — пересасывающий ящик; 9 — вакуум-насос формирующего цилиндра; 10 — водоотделители; 11 — вакуум-насос отсасывающего и пересасывающего ящиков; 12 — сукно; 13 — накат; 14 — подающий вал; 15 — сборник оборотной воды; 16 — пресс; 17 — сетконатяжной валик.

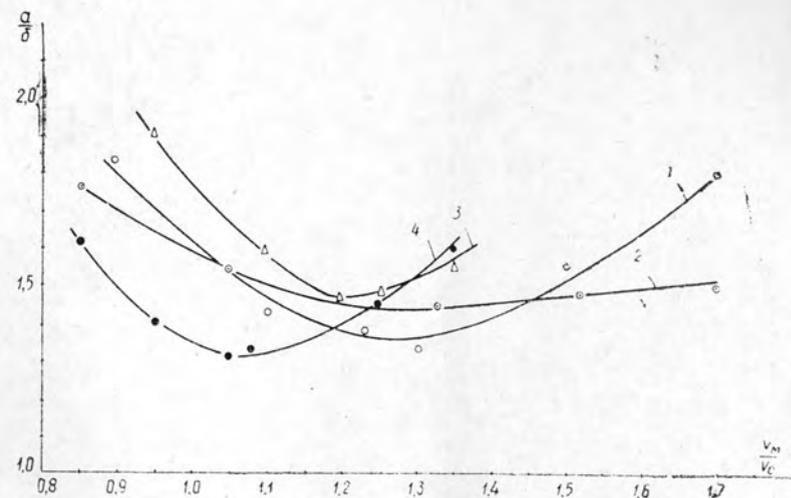


Рис. 2. Изменение показателей прочности бумаги от соотношения скорости напуска массы к скорости сетки.

1 — концентрация массы 0,6%; 2 — 0,7; 3 — 0,8; 4 — 0,9 %.

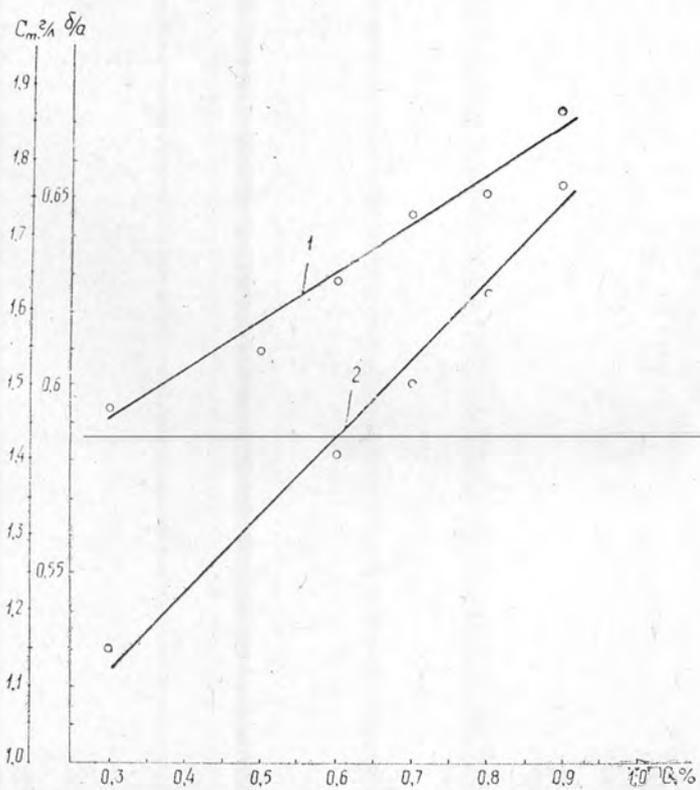


Рис. 3. Изменение показателей промоя волокна и прочностных показателей полотна от начальной концентрации.

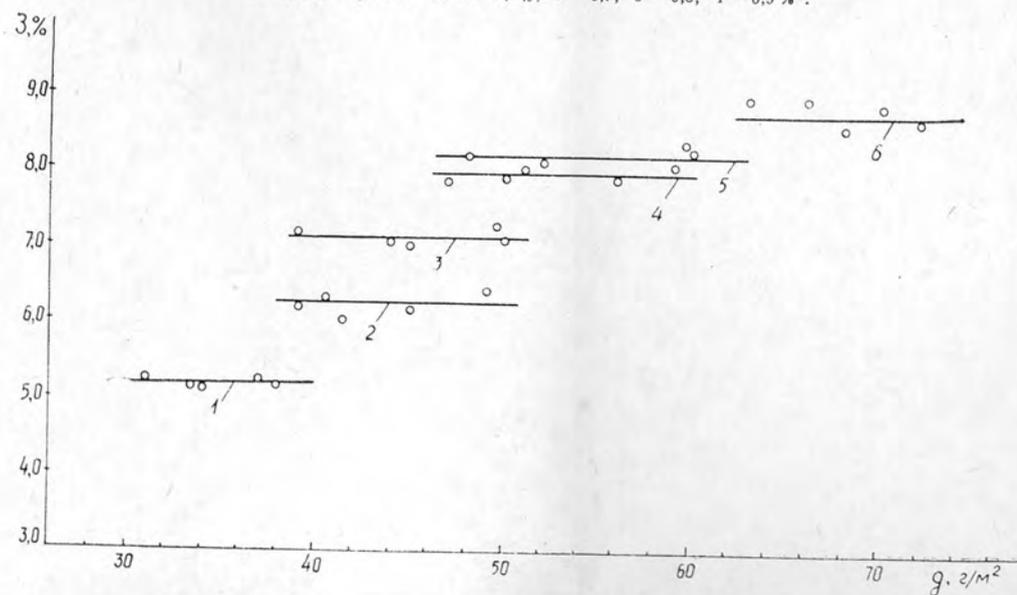


Рис. 4. Изменение показателей зольности от веса 1 м² бумажного полотна и начальной концентрации.

1 — 0,3%; 2 — 0,5; 3 — 0,6; 4 — 0,7; 5 — 0,8; 6 — 0,9%.

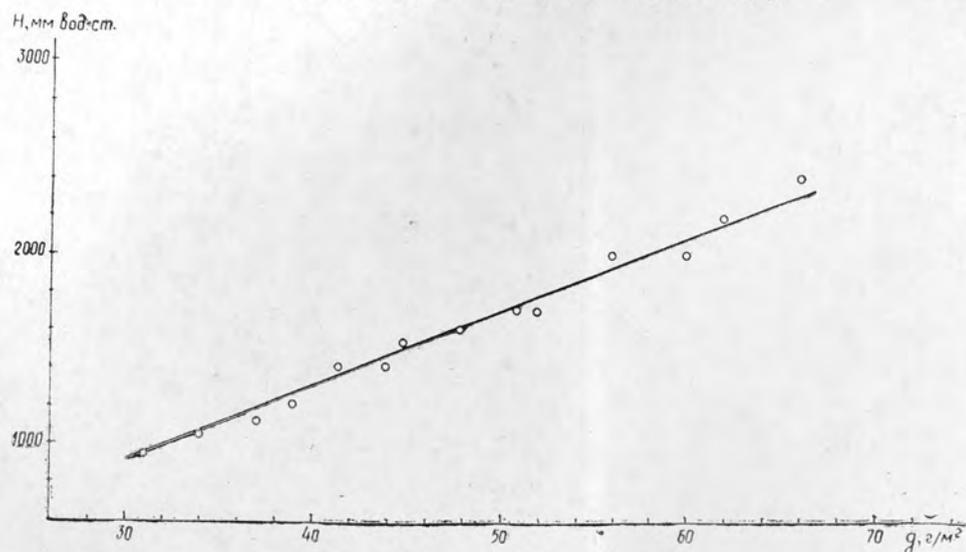


Рис. 5.

Цена 1 руб.

**Подписывайтесь  
на журнал на 1975 г.**

**«ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ»  
МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР**

Раздел

**„ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ“**

Индекс 70368

«Лесной журнал» выходит один раз в два месяца номерами по 15 печатных листов каждый. Подписная цена на год — 6 руб. Цена отдельного номера — 1 руб.

Подписка принимается органами «Союзпечати». В случае отказа в приеме подписка может быть оформлена через редакцию.

По заявке, направленной в редакцию, комплекты журналов и отдельные номера высылаются наложенным платежом.

Адрес редакции: 163007, Архангельск-7, Набережная В. И. Ленина, 17, АЛТИ, «Лесной журнал».

05  
ИЗБ2

# ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ

3

---

1975